

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Estudo de medidas de eficiência de iluminação interior
no âmbito de uma certificação energética RECS:
aplicação ao Campus do ISCTE – IUL

Patrícia Filipa Lourenço Covas

Trabalho realizado sob a supervisão de
Professor Guilherme Carrilho da Graça

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação

2015

Agradecimentos

Quero agradecer ao Professor Guilherme Carrilho da Graça, por ter aceitado ser meu orientador científico e por me ter proporcionado este tema de tese que tanto apreço me deu realizar e que tanta aprendizagem me proporcionou. Por me ter ajudado na compreensão de assuntos que ainda não dominava e esclarecido todas as dúvidas que foram surgindo durante a realização desta dissertação.

Ao Nuno Mateus, Ana Filipa Silva, António Soares, Sara Gomes e Nuno Martins por nos terem aturado no seu gabinete longos meses e por todas as dúvidas e momentos de fraqueza em que sempre tiveram uma palavra a dizer. Agradeço a todos os momentos de descontração e almoços que permitiram sentir-me como um membro da vossa equipa de edifícios.

Aos meus colegas de trabalho Raquel Almeida, Francisco Carvalho e Pedro Fonseca por toda a dedicação que tiveram no desenvolvimento de todo o nosso trabalho e nas noitadas conjuntas a realizar esta certificação energética. Agradeço também, ao meu colega Daniel Albuquerque que apesar de não ter integrado a equipa que trabalhou no Projeto do ISCTE, me ajudou em muitos momentos.

A toda a equipa do ISCTE – IUL que facultou toda a informação necessária para a realização deste trabalho.

Abstract

This work focuses on the importance of application of energy efficiency measures, specifically in the services buildings sector, in order to promote the rational use of energy. It is based on an energy audit performed in *Campus* ISCTE – IUL, within the program ECO.AP. The object of study in this particular work focused on the Edifício II of the *Campus*.

Edifício II is located in Lisbon, a location with a mild climate with moderate seasonality in which summers are dry and hot and winters are mild and generally rainy.

A comprehensive study was performed on the following: all the constructive solutions of the building, energy consumption relating to the years 2011, 2012 and 2013, the equipments installed of air conditioning and ventilation, user profiles and all the existing lighting system. As a result of the energy audit it was possible to perform the energy certification of the building. It presents an energy class B- for Edifício II, achieving an IEE of 206 kWh_{EP}/m².year, with the air conditioning corresponding to 53% of the total consumption of the energy of the building and the lighting 11%.

In the context of this audit it was also analyzed sceneries of energy optimization for the entire university campus, within the interior lighting with the application of several rationalization measures of energy consumption. The total investment for the application of these measures would be 124 000 €, with a payback of three years and savings of 43 000 € and 358 MWh/year. Particularly for the Edifício II, the investment would be 33 000 € and would allow savings of 181 MWh/year.

Key words: energy certification, *ISCTE – IUL*, energy efficiency, lighting, RECS

Resumo

Esta dissertação de mestrado centra-se na importância da aplicação de medidas de eficiência energética, especificamente no sector dos edifícios de serviços, de modo a potenciar o uso racional de energia. Tem por base uma auditoria energética realizada ao *Campus ISCTE – IUL*, no âmbito do Programa ECO.AP. O objeto de estudo deste trabalho incidiu sobre o Edifício II do *Campus* universitário.

O Edifício II está localizado no concelho de Lisboa, local de clima temperado conhecido por apresentar Verões quentes e secos e Invernos são suaves e geralmente chuvosos.

Foi realizado um estudo exaustivo de todas as soluções construtivas do edifício, do consumo de energia referente aos anos de 2011, 2012 e 2013, dos equipamentos de climatização e ventilação instalados, dos perfis de utilização e de todo o sistema de iluminação existente. Como resultado da auditoria energética foi possível realizar a certificação energética do edifício, obtendo-se uma classe energética B⁻ para o Edifício II, apresentando um IEE de 206 kWh_{EP}/m².ano, com a climatização a corresponder a 53% do consumo total de energia do edifício e a iluminação a 11%.

No contexto desta auditoria analisaram-se também cenários de otimização energética para todo o *Campus* universitário, no âmbito da iluminação interior, com a aplicação de várias medidas de racionalização do consumo energético. O investimento total da aplicação das mesmas seria de, aproximadamente, 124 000 € com um *payback* simples de três anos de 43 000 € e uma poupança de 358 MWh/ano. Particularmente para o Edifício II, o investimento da aplicação das medidas seria de 33 000 € e permitiria uma poupança de 181 MWh/ano.

Palavras-chave: certificação energética, *ISCTE – IUL*, eficiência energética, iluminação, RECS

Índice

1.	Introdução.....	1
2.	Sistema de certificação energética no sector dos edifícios em Portugal	4
2.1	Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios.....	4
2.2	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios	5
2.3	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços	5
3.	Programa ECO.AP	9
4.	Simulação dinâmica computacional	10
4.1	<i>Software</i> utilizado.....	10
5.	Iluminação interior	12
6.	Caso de estudo.....	14
6.1	Descrição do edifício.....	14
6.1.1	Local e análise climática	15
6.1.2	Soluções Construtivas	17
6.1.3	Sombreamento.....	19
6.1.4	Inércia Térmica.....	21
6.1.5	Sistemas de Climatização	22
6.1.6	Ventilação.....	25
6.1.7	Iluminação	26
6.1.8	Equipamentos elétricos.....	28
6.1.9	Consumo energético	29
6.2	Simulação dinâmica em condições reais	30
6.2.1	Modelo geométrico.....	31
6.2.2	Zonamento térmico.....	31
6.2.3	Soluções construtivas	33
6.2.4	Ganhos internos	34
6.2.5	Climatização	36
6.2.6	Infiltração	37

6.2.7	Perfis de utilização	37
6.2.8	Calibração do modelo.....	41
6.2.9	Resultados obtidos da simulação em condições reais	43
6.3	Simulação com as soluções de referência	44
6.3.1	Soluções de referência.....	44
6.4	Resultados da simulação dinâmica.....	47
6.5	Resultados da simulação com otimização energética.....	49
7.	Medidas de eficiência energética de iluminação interior	51
7.1	Tecnologias de iluminação existentes	51
7.2	Estimativa do consumo de iluminação.....	52
7.3	Potencial de poupança Energética.....	54
7.4	Qualidade do Sistema de Iluminação	60
8.	Conclusões	65
9.	Bibliografia.....	67
Anexos.....		I
Anexo I.....		I
i.	Soluções construtivas exteriores da envolvente vertical opaca.	I
ii.	Soluções construtivas interiores da envolvente vertical opaca.....	III
iii.	Soluções construtivas do pavimento interior.....	V
iv.	Soluções construtivas para as coberturas exteriores dos quatro corpos.	VIII
Anexo II.....		X
Anexo III		XI
Anexo IV		XII
Anexo V		XIII

Índice de Figuras

Figura 1.1– Consumo de energia final por sector de atividade em 2012 (DGEG, 2012).....	1
Figura 4.1 – Integração dos elementos característicos de um edifício na simulação dinâmica (EnergyPlus, 2013).....	11
Figura 6.1– Vista aérea da localização do Campus ISCTE – IUL.	14
Figura 6.2 – Caracterização das temperaturas e radiação solar média para Lisboa (LNEG, 2010).	16
Figura 6.3 – Irradiação global em Lisboa, por orientação, ao longo do ano (Graça, Helder et al, 2004).	16
Figura 6.4 – Sombreamento fixo do Edifício II.	20
Figura 6.5 – Sombreamento móvel: estores de persianas e estores microperfurados.	20
Figura 6.6 – Sistema VRV.	23
Figura 6.7 – Unidades interiores (CEDs).	23
Figura 6.8 – Unidade <i>Close Control</i> UCL260.....	24
Figura 6.9 – Percentagem da potência instalada no edifício por tipo de tecnologia de lâmpadas.....	27
Figura 6.10 – Evolução mensal dos consumos globais de energia do edifício.....	30
Figura 6.11 – Modelo geométrico do Edifício II (imagens do <i>Google SketchUp Pro</i>).....	31
Figura 6.12 – Zonamento térmico do piso 1 para o Edifício II.	32
Figura 6.13 - Zonamento térmico do piso 3 para o Edifício II.	32
Figura 6.14 - Zonamento térmico do piso 5 para o Edifício II.	33
Figura 6.15 - Zonamento térmico do piso 7 para o Edifício II.	33
Figura 6.16 – Consumos elétricos resultantes da simulação e consumos faturados pela IBERDROLA ao longo do ano.	42
Figura 6.17 - Consumos de gás natural resultantes da simulação e consumos faturados pela Galp Energia ao longo do ano.	42
Figura 6.18 – Desagregação de consumo energético obtidos a partir da simulação dinâmica.....	43
Figura 6.19 – Necessidades de climatização resultantes da simulação, para o Edifício II.	44
Figura 6.20 – Desagregação de consumo energético para a simulação do edifício real e para a simulação de referência.	48
Figura 7.1 – Consumo de energia na iluminação, por tecnologia de lâmpada.	53
Figura 7.2 – Distribuição do consumo de energia por tipo de lâmpada, para cada edifício do <i>Campus ISCTE – IUL</i>	54
Figura 7.3 – Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para o Edifício I.	56
Figura 7.4 – Análise económica para cada MRCE aplicada ao Edifício I.	57
Figura 7.5 - Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para o Edifício II.	58
Figura 7.6 - Análise económica para cada MRCE aplicada ao Edifício II.	59
Figura 7.7 - Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para a Ala Autónoma.	59

Figura 7.8 - Análise económica para cada MRCE aplicada à Ala Autónoma.....	60
Figura 7.9 – Qualidade de iluminação do Edifício I, antes e após a aplicação das MRCE propostas...	61
Figura 7.10 - Qualidade de iluminação do Edifício II, antes e após a aplicação das MRCE propostas.	62
Figura 7.11 - Qualidade de iluminação da Ala Autónoma, antes e após a aplicação das MRCE propostas.....	63
Figura 7.12 - Qualidade de iluminação antes e após a aplicação das MRCE propostas para o <i>Campus</i>	63

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Consumos de energia a considerar no IEES e no IEET, segundo o RECS.	6
Tabela 2.2 - Classificação energética em função do R_{IEE} (RECS, 2013).	8
Tabela 6.1 – Resistências térmicas do ar (ITE50, 2010).	18
Tabela 6.2 – Resistências convectivas superficiais, segundo o Despacho n.º 15793-K/2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013.	18
Tabela 6.3 – Características dos vãos envidraçados da envolvente (Saint-Gobain).....	19
Tabela 6.4 – Cálculo da Inércia térmica do edifício.....	21
Tabela 6.5 – Distribuição dos equipamentos de climatização no Edifício II.	22
Tabela 6.6 – Especificações dos equipamentos de climatização do edifício.....	24
Tabela 6.7 – Equipamentos de Ventilação.	25
Tabela 6.8 – Distribuição quantitativa das lâmpadas instaladas por tecnologia.....	26
Tabela 6.9 – Potência instalada e densidade de potência por tipologia de espaço.	27
Tabela 6.10 – Densidade média de equipamentos por tipologia de espaço.	29
Tabela 6.11 – Potências consideradas na simulação para cada tipo de equipamento elétrico.....	36
Tabela 6.12 – Perfis de utilização considerados para cada equipamento de climatização.	41
Tabela 6.13 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência (RECS).	45
Tabela 6.14 – Valores de densidade de potência de iluminação considerados na simulação de referência.	46
Tabela 6.15 – Caudais de ar novo considerados na simulação do real e da solução de referência, consoante o tipo de cargas de poluentes.....	47
Tabela 6.16 – Consumo energético por tipo de utilização e componentes do IEE resultantes das simulações dinâmicas.....	48
Tabela 6.17 - Consumo energético por tipo de utilização e componentes do IEE resultantes das simulações dinâmicas do Real, Real com MRCE e Referência.	50
Tabela 7.1 – Potência instalada por tipo de tecnologia de lâmpadas, no <i>Campus</i>	51
Tabela 7.2 – Análise económica realizada para a renovação do sistema de iluminação.....	64

Índice de abreviaturas

AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	<i>Coefficient of performance</i>
DGEG	Direção Gral de Energia e Geologia
DPI	Densidade de potência de iluminação
FT	Fluorescentes tubulares
IEA	<i>International Energy Agency</i>
ISCTE	Instituto Superior de Ciências Sociais do Trabalho e da Empresa
IUL	Instituto Universitário de Lisboa
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
QAI	Qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RPH	Renovações por hora
UCC	<i>Unidade Close Control</i>
UE	União Europeia
UTA	Unidade de tratamento de ar
UTAN	Unidade de tratamento de ar novo
VC	Ventiloconvector
VRV	Volume de Refrigerante Variável

1. Introdução

À medida que uma sociedade se torna cada vez mais desenvolvida, é espectável que as necessidades de conforto e o consumo de energia também aumentem. O crescimento da população, o aumento da procura por serviços de construção e níveis de conforto, juntamente com o aumento do tempo despendido no interior de edifícios são fatores que permitem antever um crescimento cada vez maior na procura de energia.

O atual estilo de vida da população dos países desenvolvidos seria impossível sem a exploração dos diferentes recursos energéticos atuais, quer sejam renováveis (energia solar, eólica, hídrica, entre outros) ou não renováveis (petróleo, carvão, gás natural, etc). No entanto, ao ritmo a que esta exploração ocorre é espectável que, caso não sejam tomadas medidas que contrariem esta tendência, em apenas 35 anos o consumo mundial de energia irá duplicar e em 55 anos pode mesmo triplicar (ADENE, 2012).

Neste sentido, é necessário compreender a importância de uma utilização racional de energia em cada produto ou serviço, sem que isso implique modificar o estilo de vida ou abdicar do conforto que conhecemos. A esta prática dá-se o nome de eficiência energética. É uma prática que permite gerir e regular o crescimento do consumo de energia.

O rápido aumento da utilização mundial de energia já levantou preocupações sobre dificuldades de abastecimento, esgotamento dos recursos energéticos e perigosos impactos ambientais (diminuição da camada de ozono, aquecimento global, alterações climáticas, etc.). A contribuição global dos edifícios, quer residenciais ou de serviços, em relação ao consumo de energia tem vindo a aumentar atingindo valores entre 20 % e 40 % nos países desenvolvidos, superando mesmo o sector da indústria e dos transportes em alguns casos (Pérez-Lombard, et al, 2008).

Na União Europeia, o sector dos edifícios é responsável por 40 % do consumo de energia final. Em Portugal, de acordo com a Figura 1.1, o sector representa cerca de 30 % do consumo de energia final (sectores Doméstico e de Serviços), impulsionando o tema da eficiência energética nos edifícios (DGEG, 2012).

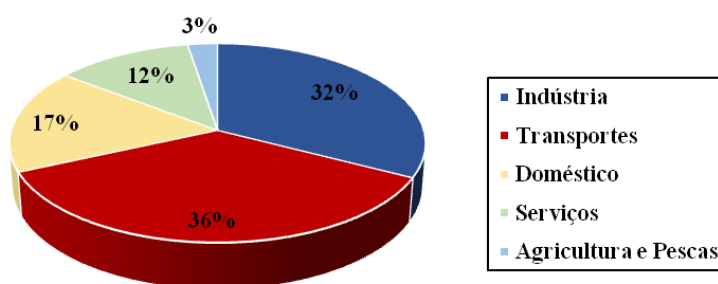


Figura 1.1– Consumo de energia final por sector de atividade em 2012 (DGEG, 2012).

O sector dos edifícios de serviços abrange todos os edifícios comerciais e público, incluindo escolas, restaurantes, hotéis, hospitais, museus, entre outros, que apresentam uma variedade de usos e serviços energéticos, tais como: AVAC, AQS, iluminação, confeção de alimentos, etc.

De um modo geral, o consumo referente à climatização, em países desenvolvidos, corresponde a 50 % do consumo de energia nos edifícios e um quinto do consumo total de energia a nível nacional (Pérez-Lombard, et al, 2008).

Quanto à parcela da iluminação neste sector, esta apresenta um grande peso no consumo final de energia. Em Portugal, esta parcela corresponde a 12 % no sector residencial e a 20 % no sector dos serviços que, em comparação com os restantes países da UE, a parcela referente ao sector residencial mantém-se nos 12 %, mas no sector dos serviços pode mesmo atingir os 60 % (DGEG, 2012).

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia final no sector dos edifícios e tentar solucionar este cenário, o governo português implementou o Sistema de Certificação Energética (SCE), promovendo a melhoria nas condições de conforto e de desempenho energético dos edifícios, através de um conjunto de medidas de eficiência energética. O SCE permite classificar energeticamente um determinado edifício, de acordo com o cálculo dos consumos energéticos anuais, bem como quanto à qualidade do ar interior.

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2013 a 2016, prevê para o ano 2016, uma redução do consumo energético de aproximadamente 8 %, comparativamente à média do consumo final de energia entre 2001 e 2005. Para o ano 2020, este estabelece uma redução do consumo de energia primária de 25 % e especificamente para a Administração Pública, uma redução de 30 %.

Assim sendo, para promover a eficiência energética na Administração Pública, surge o Programa ECO.AP, conhecido como “Programa de Eficiência Energética na Administração Pública”. O seu principal objetivo é desenvolver um novo mercado de serviços de energia, através da contratação de Empresas de Serviços Energéticos (ESE) e da promoção de Contratos de Desempenho Energético, com a finalidade de aumentar em 30 % a eficiência energética dos serviços e organismos públicos até 2020.

Neste sentido, esta dissertação de mestrado surge no âmbito do Programa ECO.AP, financiado pelo FEE, de modo a identificar as *baselines* de consumo de energia do Edifício II, conducente à respetiva Certificação Energética, no âmbito da Auditoria Energética e de Qualidade do Ar Interior do *Campus ISCTE – IUL*. É ainda apresentado um estudo detalhado, sobre medidas de racionalização do consumo energético e as suas implicações ao nível da iluminação interior.

Os objetivos específicos desta dissertação assentam na promoção de medidas de eficiência energética responsáveis por um aumento do uso racional da energia final, no *Campus ISCTE – IUL* e evidenciar as consequências da sua aplicação. Pretende ainda, promover o uso de tecnologias de iluminação interior inovadoras com baixos consumos energéticos diminuindo, desta forma, o consumo final de energia e evidenciar quais os procedimentos conducente à certificação energética de edifícios de serviços, segundo o RECS.

Todo o processo de certificação energética e as intervenções propostas no âmbito desta dissertação, pretendem aumentar a eficiência energético do *Campus ISCTE – IUL*, bem como diminuir o consumo energético global da instituição de ensino superior.

Esta dissertação está dividida em oito Capítulos e cinco Anexos. O Capítulo 1 representa a introdução onde são descritos os objetivos e motivações desta dissertação. No Capítulo 2 está patente a regulamentação energética no sector dos edifícios em Portugal, segundo o RECS. O terceiro Capítulo diz respeito à descrição sucinta dos objetivos e *baselines* em que assenta o Programa ECO.AP.

A simulação dinâmica computacional, é descrita no Capítulo 4, onde é explicado qual o intuito da simulação bem como o *software* utilizado para tal. No Capítulo 5 é realizada uma breve introdução das tecnologias existentes para iluminação interior e quais as vantagens na utilização de cada uma. O Capítulo 6 apresenta o caso de estudo, onde é feita a caracterização do edifício e descrita de forma detalhada a certificação energética efetuada. No sétimo Capítulo procede-se à descrição das medidas de eficiência energética relativamente à iluminação interior e quais os resultados da aplicação das mesmas. O Capítulo 8 consiste nas considerações finais e conclusões obtidas ao longo da realização deste trabalho científico e por fim, no Capítulo 9 encontram-se todas as obras consultadas referentes ao tema do trabalho.

2. Sistema de certificação energética no sector dos edifícios em Portugal

Este capítulo descreve, de forma sucinta, a regulamentação aplicável ao desempenho energético de grandes edifícios de serviços em Portugal. É feita uma breve análise sobre a Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e do respetivo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

2.1 Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios

Dado o sector dos edifícios representar uma grande parcela de consumo de energia final na Europa, tem-se vindo a desenvolver um conjunto de medidas de eficiência energética de modo a estimular a melhoria nas condições de conforto e de desempenho energético dos edifícios, surgindo assim, a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002. A EPBD entrou em vigor a 4 de Janeiro de 2003, sofrendo uma reformulação publicada na Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010.

Esta Diretiva estabelece requisitos nomeadamente, no que se refere:

1. À metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
2. À aplicação de condições mínimas para o desempenho energético dos novos edifícios e edifícios sujeitos a grandes obras de renovação;
3. Ao cumprimento de requisitos mínimos de elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente
4. Aos planos nacionais para incrementar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
5. À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
6. À inspeção frequente das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
7. Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

A EPBD é responsável pela implementação do SCE, em Portugal, lançando o desafio e definindo objetivos, mas deixando à responsabilidade de cada Estado-Membro (EM) apresentar um plano de ação e estabelecer uma série de requisitos e limites que vão ao encontro das metas estipuladas nesta Diretiva.

2.2 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

O SCE é definido detalhadamente no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto de 2013, e foi estabelecido com o objetivo de cumprir a EPBD, como referido na Secção 2.1. Este permite assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tornando mais clara a aplicação do SCE aos edifícios de habitação (REH) e aos edifícios de comércio e serviços (RECS). Entrou em vigor a 1 de Dezembro de 2013.

A implementação de um sistema de certificação energética obrigatório pretende informar a população relativamente à qualidade térmica dos edifícios proporcionando aos utilizadores, informações sobre os consumos de energia reais ou aferidos, através de padrões de utilização (edifícios existentes) ou consumos previstos (edifícios novos). A classificação de um determinado edifício é realizada por um perito qualificado no âmbito do SCE, onde se classifica o edifício em função do seu desempenho energético em oito classes de A+ a F, quanto à qualidade do ar interior, bem como se apresenta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos ou efetivos.

Após a revisão a que o SCE foi sujeito, é dado privilégio à ventilação natural relativamente aos equipamentos de ventilação mecânica, no que diz respeito à qualidade do ar interior e são eliminadas as auditorias da QAI, sendo apenas necessário controlar as fontes de poluição e adotar medidas preventivas. Dá-se especial relevância à manutenção dos valores de caudais mínimos de ar novo por espaço e aos limiares de proteção para concentrações de poluentes do ar interior, mantendo deste modo, os níveis de saúde e bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

2.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

O RECS é o regulamento referente ao desempenho energético dos **edifícios de comércio e serviços**, onde constam os requisitos mínimos de conceção para edifícios novos, existentes e sujeitos a grande intervenção. Este desempenho energético é calculado pela determinação do seu indicador de eficiência energética (IEE). Segundo o RECS, o IEE de um edifício de comércio e serviços é determinado a partir do somatório dos consumos anuais de energia de indicadores parciais que são convertidos em energia primária, por um fator de conversão estabelecido no regulamento, por unidade de área interior útil de pavimento. Este é determinado pela expressão (1):

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad [\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (1)$$

Onde:

- IEE_S : representa os consumos de energia que são considerados no cálculo da classe energética;
- IEE_T : representa os consumos de energia que não são considerados no cálculo da classificação energética do edifício;
- IEE_{ren} : é determinado com base na produção de energia térmica e elétrica a partir de fontes de energia renováveis.

Os consumos de energia que se deve ou não considerar para a determinação da classe energética estão representados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Consumos de energia a considerar no IEES e no IEET, segundo o RECS.

Consumos no IEES	Consumos no IEET
<ul style="list-style-type: none"> - Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humificação e desumificação - Ventilação e bombagem em sistemas de climatização - Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas - Iluminação interior - Elevadores, escadas e tapetes rolantes (apenas a partir de 1 de janeiro de 2016) - Iluminação exterior (apenas a partir de 1 de janeiro de 2016) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica - Equipamentos de frio - Iluminação dedicada e de utilização pontual - Elevadores, escadas e tapetes rolantes (até 31 de dezembro de 2015) - Iluminação exterior (até 31 de dezembro de 2015) - Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEES

Cada um destes indicadores é determinado segundo a expressão (2):

$$IEE_{S \text{ ou } T \text{ ou } ren} = \frac{1}{A_p} \sum (E_i \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (2)$$

onde, A_p representa a área útil de pavimento, E_i o consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S ou T, e $F_{pu,i}$ é o fator de conversão de energia útil em energia primária, segundo a DGEG. Para o cálculo do IEE_{ren} , o termo E_i representa a produção de energia por fonte de energia renovável e os restantes parâmetros têm o mesmo significado já descrito.

Segundo o RECS, distinguem-se vários tipos de indicadores de eficiência energética:

- IEE previsto (IEE_{pr}), calculado a partir do consumo anual de energia do edifício com base na sua localização, nas suas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos instalados e nos perfis de utilização do edifício;
- IEE efetivo (IEE_{ef}), que traduz o consumo anual do edifício mas obtido com base no histórico de faturas de energia e/ou considerando resultados de uma avaliação energética realizada numa base de tempo anual;
- IEE de referência (IEE_{ref}) calculado através do consumo anual de energia determinado recorrendo às soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do edifício.

Para determinar os indicadores de eficiência energética IEE_{pr} e IEE_{ef} existem três tipos de métodos: método de previsão do IEE_{pr} por simulação dinâmica multizona; método de previsão do IEE_{pr} por cálculo dinâmico simplificado e método de determinação de IEE_{ef} por consumo efetivo.

O método de simulação dinâmica multizona para determinação do IEE_{pr} deve ser efetuada com recurso a um programa validado pelo método descrito na norma ASHRAE 140. Este programa deverá ter a capacidade de modelar mais do que uma zona térmica, com um incremento de tempo horário e contabilizando as 8760 horas de um ano civil. Este deve ainda modelar o efeito da massa térmica do edifício; a variação horária das cargas internas diferenciadas em iluminação, ocupação e equipamentos; modelar os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, possibilitando a parametrização independente para dias de semana e fins-de-semana e modelar a recuperação de calor do ar rejeitado. Este método é aplicado a edifícios novos e de grandes renovações, podendo ser aplicado a edifícios existente, como alternativa.

De acordo com o RECS, no método de cálculo dinâmico simplificado, o IEE_{pr} deve ser determinado considerando o balanço de energia, tendo por base estimativas do consumo de energia realizada através de cálculo anual simples, numa base horária, para as estimativas das necessidades de energia em aquecimento e arrefecimento, descrito na norma EN ISO 13790. É aplicado a edifícios que apenas contém uma zona térmica.

A determinação do IEE_{ef} por consumo efetivo é calculado por fonte de energia, a partir do consumo médio anual de energia final e tendo em conta o respetivo fator de conversão para energia primária e a área útil de pavimento do edifício. Este consumo é aferido com base em faturas de energia e/ou registos de contagens de energia dos últimos 36 meses de utilização do edifício em estudo, bem como os resultados de uma avaliação energética e de dados provenientes de um sistema de gestão de energia, caso existam. Este método apenas pode ser aplicado a edifícios existentes, pelas razões descritas anteriormente.

Estes indicadores previstos ou reais são comparados com o indicador de referência (IEE_{ref}) que é calculado para o funcionamento real do edifício, mas com soluções de referência, de modo a avaliar o desempenho energético do edifício em estudo.

O RECS estabelece condições a respeitar na determinação do IEE_{pr} , IEE_{ef} e o IEE_{ref} para vários parâmetros, tais como:

- **Qualidade térmica da envolvente**, onde são estipulados requisitos gerais a aplicar a envidraçados, nomeadamente, a fatores solares máximos de vãos envidraçados, e à envolvente, onde são estipulados valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica para a envolvente exterior do edifício;
- **Sistemas de climatização**, onde são estabelecidas as eficiências dos equipamentos de climatização e ventilação, espessuras mínimas de isolamento e pontos a monitorizar;
- **Sistemas de iluminação** onde estão expostas as densidades de potência a considerar para cada espaço e os valores máximos admissíveis de iluminância;
- **Preparação de AQS** onde são definidos requisitos gerais quer a nível de produção quer a nível de controlo, regulação e monitorização;
- **Sistemas de regulação, controlo e gestão técnica** onde são apresentados os requisitos gerais para sistemas autónomos de regulação e controlo e sistemas de gestão técnica centralizada;
- **Elevadores** onde são apresentados os requisitos mínimos de eficiência para os mesmos;
- **Sistemas de energia renovável** onde são apresentados os elementos que devem ser abrangidos no estudo de implementação de soluções renováveis no edifício.

Segundo o RECS, as condições interiores dos edifícios devem considerar uma temperatura interior compreendida no intervalo de 20 °C a 25 °C (temperatura de conforto), inclusive, embora haja uma exceção. Quando um edifício é caracterizado com híbrido ou passivo, a sua temperatura interior pode estar compreendida entre 19 °C e 27 °C. Para o edifício ser caracterizado como **híbrido** é necessário que a percentagem de horas de ocupação anual em que se verifica as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento seja de 10 % a 30 %, inclusive. Já para ser caracterizado como **passivo**, a sua percentagem de horas de ocupação anual em que se verifica as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento tem de ser de 10 % (RECS, 2013).

Por fim, após a determinação do IEE do edifício, é possível classificá-lo energeticamente. A classificação energética divide-se em 8 classes, de A⁺ a F, segundo consta na Tabela 2.2. Para analisar a classe energética, é necessário calcular o rácio de classe energética (R_{IEE}) dada pela expressão (3):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{Ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (3)$$

Os componentes presentes na expressão, foram já descritos ao longo desta Secção.

Tabela 2.2 - Classificação energética em função do R_{IEE} (RECS, 2013).

Classe Energética	Valor de R_{IEE}
A +	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

3. Programa ECO.AP

O Programa ECO.AP, como referido na Secção 1, tem como objetivos promover a eficiência energética na administração pública e desenvolver um novo mercado de serviços de energia aumentando em 30 % a eficiência energética dos edifícios e equipamentos da Administração Pública, até 2020 (ADENE, 2014).

As empresas de serviços energéticos são responsáveis pelo conceito “ESCO” (*Energy Services Company*) no domínio nacional e foram criadas com o objetivo de prestar serviços de energia e eficiência energética recorrendo a meios próprios, ou contratados por si. Os serviços de energia podem incluir auditorias energéticas, gestão de energia, fornecimento de energia ou equipamentos e prestação de serviços. A remuneração dos serviços prestados é alcançada à medida que os objetivos financeiros de poupança energética são atingidos ou através de outros critérios de desempenho acordados, sendo desta forma os riscos de investimento e de exploração partilhados entre a ESE e a entidade adjudicante.

Os contratos de *performance* energética celebrados com as ESE, devem ser efetuados com as instituições públicas responsáveis por uma grande parcela do consumo energético de cada ministério, desde que estas individualmente ou em grupo consumam mais de 100 MWh/ano e conjuntamente representem no mínimo 20 % do consumo de energia.

O desenvolvimento do sector das empresas de serviços energéticos é um dos objetivos deste projeto, permitindo criar um mercado de serviços de energia com elevado potencial, assim como combater o desperdício e a ineficiência no uso de energia.

O Programa ECO.AP é financiado pelo Fundo de Eficiência Energética (FEE) que representa um instrumento financeiro criado com o intuito de custear os programas previstos no PNAEE. Este FEE tem, para além desta finalidade, o objetivo de impulsionar a eficiência energética, apoiando projetos e promovendo alterações no comportamento das empresas e da população. Os projetos que podem requerer financiamento pelo FEE têm de pertencer ao sector dos transportes, sector dos edifícios ou sector da indústria e serviços públicos.

4. Simulação dinâmica computacional

A simulação dinâmica de edifícios tem como objetivo modelar o comportamento térmico dos mesmos numa base temporal, bem como a consequência desse comportamento térmico nos consumos de energia do edifício, permitindo assim ter uma visão dos seus consumos aquando o seu funcionamento.

Nas últimas décadas, a simulação térmica de edifícios tornou-se uma característica padrão na construção de edifícios novos e na intervenção dos já existentes. Com a consciencialização do impacto das características da envolvente no consumo de energia, a maioria dos regulamentos do comportamento térmico dos edifícios exige a simulação dinâmica de modo a estimar quais os consumos de energia do edifício. É necessária existir uma validação da simulação realizada, no caso de edifícios existentes, de modo a aferir que o modelo dinâmico criado representa de forma fidedigna a realidade em causa.

4.1 Software utilizado

O *software* utilizado nesta simulação dinâmica foi o *EnergyPlus* 8.1.0.009.

O *EnergyPlus* tem como base os programas *BLAST* e *DOE-2*. O *BLAST* (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e o *DOE-2* foram desenvolvidos e lançados no final de 1970 e início dos anos 80, como ferramentas de simulação energética e cargas internas, em que o seu público – alvo era engenheiros ou arquitetos que desejassem dimensionar sistemas AVAC, otimizar desempenhos energéticos, otimizar custos de vida, entre outros (EnergyPlus, 2013).

Assim o *EnergyPlus* é um programa de simulação que permite aferir a carga térmica e a análise energética de um edifício, calculando as suas necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento para manter determinadas condições interiores através da utilização de controlos de temperatura, considerando os respetivos sistemas de AVAC introduzidos.

Este *software* permite uma simulação integrada do comportamento térmico dos edifícios, uma vez que os parâmetros estão correlacionados entre si, isto é, os *outputs* de um parâmetro são os *inputs* de outro, facilitando uma análise energética do edifício. A simulação inicia-se com a caracterização das cargas internas de cada zona térmica de modo a simular o balanço energético, seguidamente estes resultados serão *input* para determinar as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento para um intervalo de tempo definido pelo utilizador (*timestep*) cujos resultados por sua vez, serão *inputs* para calcular o balanço energético nas zonas térmicas no *timestep* seguinte, e assim sucessivamente. É fundamental para a simulação, inserir um ficheiro climático no *software*, que represente as condições meteorológicas representativas do local onde o edifício se encontra ou será inserido, de modo a que os processos envolvidos na simulação representem a realidade. Na Figura 4.1 é apresentado um diagrama que mostra a visão geral de integração de vários elementos característicos dos edifícios na simulação do comportamento térmico do mesmo.

Em suma, esta ferramenta é muito útil uma vez que permite avaliar o cumprimento dos regulamentos energéticos, o desempenho energético de um edifício abrangendo dos seus elementos, permite modelar fluxos de ventilação e avaliar os custos associados à faturação energética e à implementação de medidas de eficiência energética.

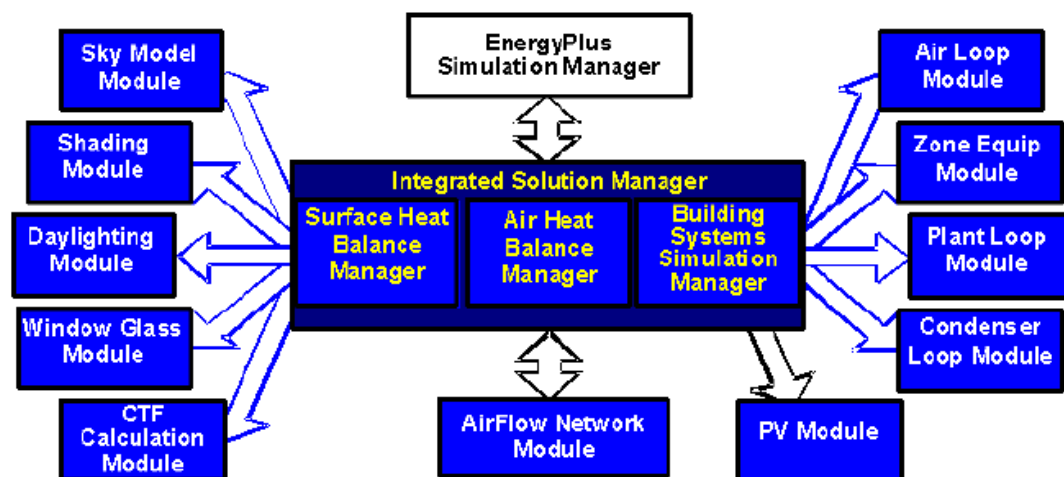


Figura 4.1 – Integração dos elementos característicos de um edifício na simulação dinâmica (EnergyPlus, 2013).

5. Iluminação interior

A iluminação foi o primeiro serviço disponibilizado pelas empresas produtoras de eletricidade e ainda nos dias de hoje, esta representa um dos maiores consumos finais de eletricidade e uma das mais importantes causas de emissões de CO₂, relacionadas com o uso da energia.

Na Europa, a iluminação representa no sector dos serviços um peso no consumo de energia elétrica que pode chegar até 60 % do consumo total. Já em Portugal, a situação é semelhante embora com uma percentagem de 20 % para a iluminação no sector dos serviços, existindo um elevado potencial de poupança energética que deve ser explorado (DGEG, 2012).

A iluminação é essencial para a realização de inúmeras tarefas laborais. Poucas pessoas entendem que a iluminação deficiente é prejudicial à saúde para além dos custos de consumo de eletricidade a ela associados. A publicação da EN 12464-1 sobre a iluminação interior estabeleceu os níveis de iluminância recomendáveis nos locais de trabalho. A norma, não estabelece níveis de iluminância obrigatórios apenas valores recomendáveis, embora os Estados-Membros sejam obrigados a ter normas nacionais que incluam a eficiência energética da iluminação, nos parâmetros de avaliação da eficiência energética global dos edifícios. No caso de Portugal, esta obrigatoriedade é imposta pelo RECS.

O Decreto-Lei nº 18/2000 estabeleceu a obrigatoriedade da etiquetagem energética para as lâmpadas, permitindo ao consumidor uma escolha racional na perspetiva de uma utilização mais eficiente da energia e também menos dispendiosa. A etiqueta energética das lâmpadas elétricas deve conter a seguinte informação:

- Classe de eficiência energética (A a G)
- Fluxo luminoso em lúmens (lm)
- Potência absorvida pela lâmpada (W)
- Tempo de vida da lâmpada

As tecnologias mais utilizadas nos sistemas de iluminação são principalmente:

a) Lâmpadas incandescentes

Estas devem o seu funcionamento à passagem de corrente elétrica por um filamento que fica incandescente e emite luz. É uma lâmpada com pouca duração e que apenas 5 % do seu consumo é convertido em luz, sendo os restantes 95 % convertidos em calor (ADENE, 2010).

b) Lâmpadas de halogéneo

Têm o mesmo princípio de funcionamento das incandescentes. São constituídas por um gás inerte existente no interior de uma ampola e são compostas por um material chamado halogéneo, no seu interior, permitindo aumentar a eficácia da luz. Estas lâmpadas aquecem demasiado, o que reduz o seu rendimento energético e as torna pouco económicas comparativamente a outras tecnologias já existentes.

c) Lâmpadas fluorescentes tubulares

O seu funcionamento baseia-se na emissão luminosa que alguns gases, como o flúor, emitem quando submetidos a uma corrente elétrica. A eficácia luminosa é assim muito maior do que no caso das lâmpadas incandescentes, pois neste processo produz-se menos calor e consumindo menos 80% de eletricidade para a mesma emissão luminosa (ADENE, 2012).

d) Lâmpadas fluorescentes compactas

Estas apresentam-se em pequenos tubos fluorescentes que têm sido progressivamente adaptados a vários tamanhos, formas e suportes (casquilhos) das lâmpadas mais usuais. Apresentam preços superiores às lâmpadas tradicionais, embora a sua poupança em eletricidade permita amortizar o investimento, muito antes de terminar o seu tempo de vida útil, que pode variar entre 8 000 e 10 000 horas (ADENE, 2012).

e) LED

Um LED (Díodo Emissor de Luz) é constituído por várias camadas de material semicondutor. A sua potência varia de 0,1 W a 3 W, conjugando-se em lâmpadas ou luminárias. Existem já disponíveis lâmpadas de LED para substituição direta de lâmpadas incandescentes, de halogéneo e fluorescentes, com diversos tamanhos e suportes (casquilhos) e conseguem poupanças até 90 % de energia na substituição de lâmpadas incandescentes (ADENE, 2012). Esta tecnologia embora apresente um maior investimento inicial relativamente às lâmpadas de baixo consumo, conseguem assegurar mais de 30 000 horas de funcionamento com 100 % de luz imediata quando se ligam e um elevado número de ciclos de ligar/desligar. A tecnologia LED não utiliza componentes tóxicos na sua composição, estando isenta de mercúrio.

6. Caso de estudo

Este capítulo especifica a metodologia utilizada no processo de certificação energética do Edifício II do *Campus ISCTE – IUL*. É descrito todo o processo de recolha de informação, produção do modelo geométrico do edifício, simulação do edifício em condições reais e nominais e por fim, é apresentado o estudo de medidas de eficiência energética de iluminação interior para todo o *Campus* e apresentados os resultados da implementação das mesmas.

O levantamento de toda a informação utilizada no processo conducente à certificação energética foi realizado através de várias visitas ao *Campus ISCTE – IUL* e de reuniões com os docentes responsáveis por diferentes departamentos.

Foi disponibilizada toda a informação referente ao levantamento arquitetónico, à ocupação de espaços e calendário letivo, sistemas de climatização e ventilação, iluminação, histórico de consumos e monitorização de espaços.

6.1 Descrição do edifício

O ISCTE – IUL é uma instituição pública de ensino universitário em funcionamento desde 1972, localizado na Avenida das Forças Armadas, no concelho de Lisboa. O *Campus ISCTE – IUL* é composto por 4 edifícios: o Edifício I, o Edifício II, a Ala Autónoma e o INDEG (Figura 6.1).



Figura 6.1– Vista aérea da localização do Campus ISCTE – IUL.

O Edifício I foi construído em 1978, com uma área bruta de 11 349 m² (edifício mais antigo das edificações do *Campus*) e possui três pisos, além do estacionamento, e está dividido em quatro alas: Norte, Sul, Este e Oeste.

A Ala Autónoma e o INDEG foram ambos construídos em 1995, a Ala Autónoma tem uma área bruta de 5 183 m² e dividida em três corpos: Corpo A, B e C, com diferentes cotas e subdividido em quatro

pisos: os três primeiros pisos compostos por salas e auditórios (localizados no primeiro piso) e um último piso composto pelo restaurante e pelo Clube ISCTE. O INDEG está dividido em quatro pisos (do piso - 1 ao piso 2) e é composto maioritariamente por salas e gabinetes. Apresenta uma área bruta de 3 300 m², aproximadamente. Este sofreu uma remodelação profunda em 2013, abrangendo as soluções construtivas das paredes e vãos envidraçados, os sistemas de climatização e de iluminação e os perfis de ocupação dos espaços.

O Edifício II apresenta uma área bruta de 30 373 m² e foi construído em 2002. É o maior edifício das edificações do *Campus*, apresentando no máximo oito pisos para além dos três pisos de estacionamento subterrâneo. Este divide-se em quatro corpos: Corpo A, B, C, e D. O corpo A é o Grande auditório, utilizado, em grande parte, para grandes eventos e o Corpo B é composto principalmente por auditórios, salas de arquitetura, salas de aula e biblioteca (composta por três pisos). No Corpo C está localizada a Restauração, bem como o Centro de Dados e a maioria das salas de aulas. Os laboratórios de informática e os gabinetes dos docentes fazem parte do Corpo D.

O *Campus* universitário é da autoria do Arquiteto Raúl Hestnes Ferreira que constituiu uma obra arquitetónica de referência em que o INDEG e o Edifício II foram distinguidos pelo Prémio Valmor (o Edifício II em 2002 e o INDEG em 1993).

6.1.1 Local e análise climática

O edifício está implantado em Lisboa, local caracterizado, segundo o Despacho n.º 15793-F/2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013, como sendo a zona climática de Inverno II e a zona climática de Verão V2. Lisboa é caracterizada por um clima temperado com oscilações de temperatura relevantes ao longo do ano, apresentando mínimos durante os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro e máximos nos meses de Julho a Setembro (Figura 6.2). As variáveis climáticas mais relevantes que influenciam o desempenho energético dos edifícios são a temperatura exterior e a radiação solar incidente nas fachadas.

A temperatura do ar é responsável pelas trocas de calor entre o ambiente exterior e interior, originando fluxos de calor através da envolvente do edifício. Deste modo, a estação de aquecimento (Inverno) é caracterizada por fluxos de calor do interior para o exterior, tratando-se de perdas térmicas, enquanto que na estação de arrefecimento (Verão) o fluxo de calor ocorre no sentido inverso, tratando-se de ganhos térmicos. As perdas térmicas têm como consequência uma diminuição da temperatura no interior dos edifícios e os ganhos térmicos um aumento da temperatura interior levando ao desconforto térmico dos ocupantes.

Lisboa é um local em que as necessidades de aquecimento são superiores às necessidades de arrefecimento, uma vez que a temperatura exterior atinge, mais frequentemente, valores abaixo da temperatura de conforto (20 a 25 °C) durante os meses de Inverno, do que as temperaturas exteriores no Verão, onde apenas em Julho, Agosto e Setembro se atingem temperaturas médias exteriores acima da temperatura de conforto (Figura 6.2).

A radiação solar afeta também, o conforto térmico dos ocupantes dos edifícios, uma vez que no Inverno é uma fonte de calor que pode ser aproveitada para aquecer o espaço, embora no Verão seja de evitar já que provoca, como referido, um aumento da temperatura interior dos espaços.

A posição a que o Sol se encontra ao longo do dia e ao longo do ano é também importante para os ganhos solares que um edifício pode apresentar, através dos vãos envidraçados, de acordo com a fachada onde estão inseridos. °

A fachada envidraçada a Sul é a que apresenta maior nível de radiação solar ao longo do ano (Figura 6.3) e a fachada a Norte a que apresenta menos problemas em termos de ganhos solares. A fachada Este recebe radiação solar no período da manhã e a fachada Oeste no período da tarde. Esta última apresenta maiores ganhos solares uma vez que recebe o Sol durante a tarde e não é necessário combater a inércia térmica que a manhã apresenta, devido ao período noturno.

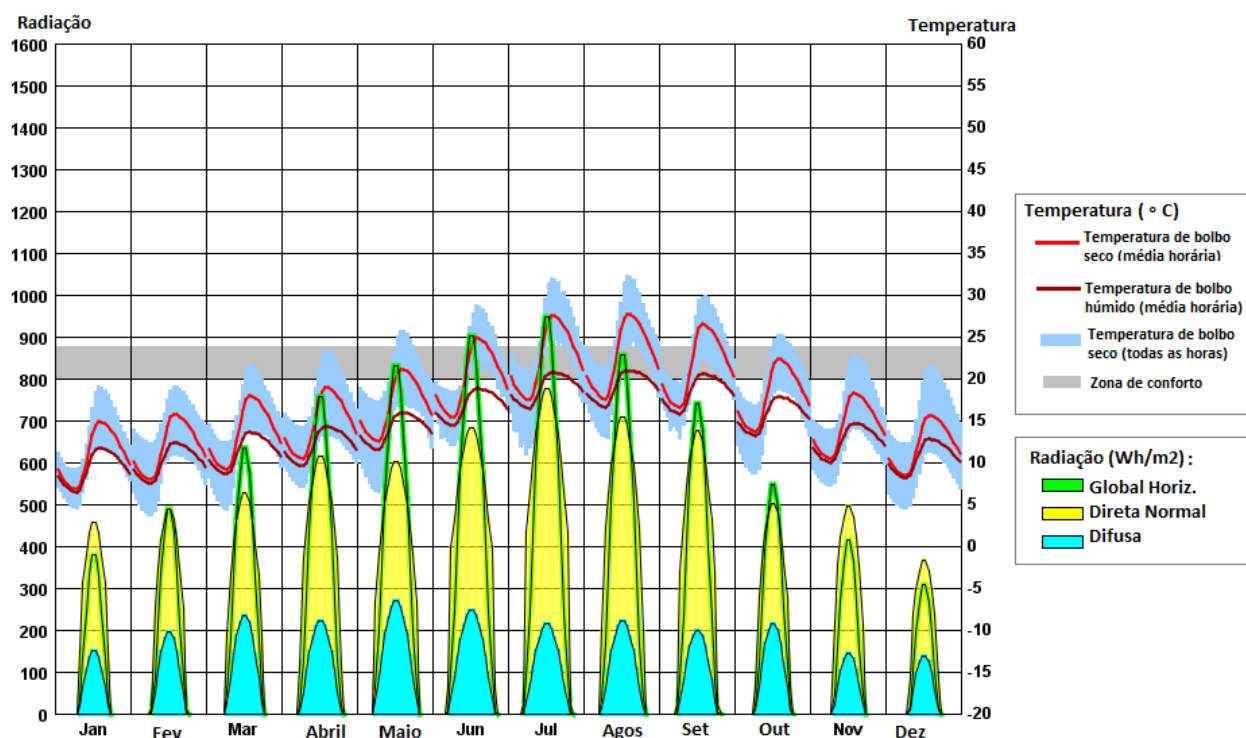


Figura 6.2 – Caracterização das temperaturas e radiação solar média para Lisboa (LNEG, 2010).

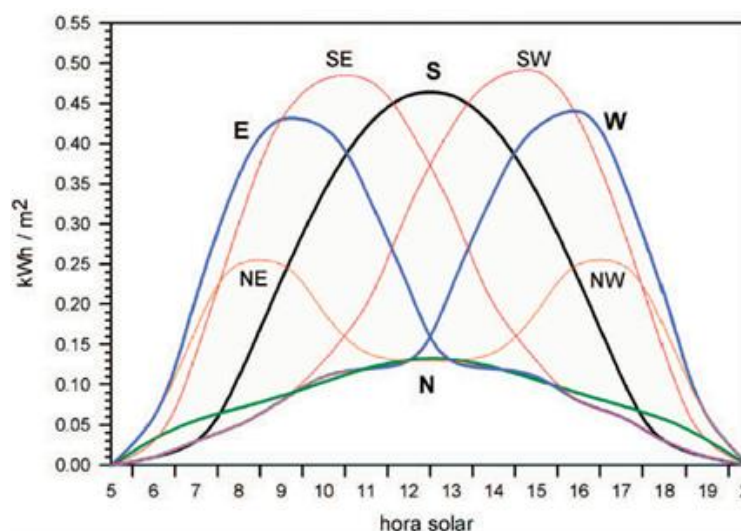


Figura 6.3 – Irradiação global em Lisboa, por orientação, ao longo do ano (Graça, Helder et al, 2004).

Os ventos predominantes neste local são oriundos do quadrante Norte, embora variem consoante a época do ano. A época de Verão é caracterizada por ventos predominantes de Norte, ventos de Nordeste na estação de Inverno e ventos de Sudoeste, Oeste e Noroeste durante as estações intermédias. No que se refere a nebulosidade, esta ocorre durante todo o ano, com maior intensidade durante o período de Inverno. Esta nebulosidade pode interferir com a radiação solar que incide nas fachadas do edifício, diminuindo a temperatura interior e, consequentemente, aumentando as necessidades de aquecimento para contrariar esta tendência.

Os dados climáticos de referência foram obtidos a partir da folha de cálculo disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG, 2010). A simulação dinâmica foi realizada recorrendo aos dados climáticos horários com vários parâmetros relevantes para o comportamento térmico do edifício, como por exemplo a temperatura exterior de bolbo seco e bolbo húmido, humidade relativa exterior e radiação solar direta e difusa. O ficheiro climático utilizado expressa os dados climáticos representativos de um ano típico de Lisboa, numa base horária.

6.1.2 Soluções Construtivas

Devido à acessibilidade da informação relativamente às soluções construtivas do Edifício II, foi possível caracterizar o envolvente térmico deste edifício. Esta caracterização foi efetuada dividindo o envolvente em várias subsecções: envolvente vertical opaca, envolvente horizontal opaca e vãos envidraçados.

6.1.2.1 Envolvente Vertical Opaca

Este edifício possui uma constituição de paredes interiores e exteriores muito diversificada. Existem mais de trinta construções diferentes para as paredes exteriores e mais de vinte para as paredes interiores. Por este motivo, optou-se por descrever apenas as soluções construtivas (exteriores e interiores) mais frequentes nos quatro corpos do edifício. Devido à sua extensão, estas são apresentadas no Anexo I, onde são descritas as soluções construtivas exteriores, caracterizadas do interior para o exterior.

Todas as paredes apresentam uma nomenclatura própria, em que começam com a letra W, da palavra inglesa *wall* seguida do código numérico correspondente.

As soluções construtivas interiores mais frequentes estão representadas no Anexo I, também devido à extensão que apresentam. A nomenclatura das paredes constituintes do edifício é apresentada da mesma forma da envolvente opaca exterior.

6.1.2.2 Envolvente horizontal opaca

A envolvente horizontal opaca apresenta também uma variedade de construções, uma vez que, as soluções construtivas dependem da tipologia das zonas que estão em contacto, por exemplo, caso se trate de uma zona entre uma sala de aula e um WC, ou um auditório e uma sala de aula, as construções

da envolvente horizontal serão diferentes, assim como, se tratando de soluções construtivas horizontais exteriores ou interiores.

O pavimento do edifício em contacto com o exterior é igual para todos os corpos e pode ser caracterizado, do interior para o exterior por: linóleo com uma resistência térmica de $0.18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, uma densidade de 200 kg/m^3 , um calor específico de 1000 J/kg.K , uma condutividade térmica de $0.06 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e com uma espessura de 1 cm, seguido de betão com 35 cm de espessura, uma resistência térmica de $0.18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, uma densidade de 2000 kg/m^3 e um calor específico de 1000 J/kg.K . Assim, o coeficiente de transmissão térmica total apresenta um valor de $2.44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

As soluções construtivas do pavimento interior são bastante diversificadas, como já referido, uma vez que varia consoante a tipologia de zona e também apresenta variações para os diferentes corpos que compõe o edifício. Assim, são apenas descritas algumas das soluções construtivas mais relevantes que podem ser consultadas no Anexo I.

Relativamente às coberturas exteriores, estas também variam de corpo para corpo. O Anexo I apresenta as soluções construtivas para as coberturas, de acordo com o corpo em questão. Estas são descritas do exterior para o interior. O coeficiente de transmissão térmica total foi calculado considerando um fluxo de calor ascendente para pavimentos e descendente para coberturas.

Para este Capítulo das soluções construtivas foi sempre considerado que, a resistência térmica do ar (R_{ar}) apresenta os valores que constam na Tabela 6.1, variando de acordo com o sentido do fluxo de calor e com a espessura da caixa-de-ar. As resistências convectivas superficiais utilizadas no cálculo das condutibilidades térmicas globais constam na Tabela 6.2.

Tabela 6.1 – Resistências térmicas do ar (ITE50, 2010).

Envolvente Opaca	Sentido do fluxo de calor	Espessura do espaço de ar [mm]	Resistência Térmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]
Vertical	Horizontal	<5	0,00
		5	0,11
		10	0,15
		15	0,17
		25 a 300	0,18
Horizontal	Vertical (ascendente)	<5	0,00
		5	0,11
		10	0,15
		25 a 300	0,16

Tabela 6.2 – Resistências convectivas superficiais, segundo o Despacho n.º 15793-K/2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013.

Sentido do fluxo de calor	Resistência Térmica Superficial [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]	
	R_{se} (exterior)	R_{si} (interior)
Horizontal	0,04	0,13
Vertical (ascendente)	0,04	0,10
Vertical (descendente)	0,04	0,17

6.1.2.3 Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados constituem cerca de 30% das fachadas. O tipo de vão presente em cada fachada depende da sua orientação e tipologia de espaço. Os diferentes tipos de envidraçados presentes no Edifício II apresentam sempre um vidro incolor, com caixilho de alumínio sem corte térmico e são de vários tipos, tais como:

- vidro simples de 6, 8, 10 ou 30 mm de espessura;
- vidro duplo composto por:
 - vidro exterior de 6 mm, espaço de ar 12 mm, vidro interior de 8 mm;
 - vidro exterior de 8 mm, espaço de ar 12 mm, vidro interior de 8mm (presente apenas no corpo B, na grande janela da biblioteca que abrange os pisos 5 e 6 da mesma).

A fachada Norte é a única que apresenta envidraçados de vidro duplo. As restantes fachadas são compostas por vidros simples que podem apresentar várias espessuras consoante a tipologia de espaço.

A zona da restauração apresenta envidraçados com vidro simples de 10 mm de espessura, os auditórios apresentam envidraçados com vidro simples de 30 mm de espessura, as portas de acesso a varandas ou acesso ao exterior são compostas por vidro simples de 8 ou 10 mm e as restantes zonas, como por exemplo, as salas de aula, gabinetes, laboratórios de informática, apresentam a solução de envidraçados mais comum no edifício: vidro simples de 6 mm de espessura.

Os vãos são fixos ou giratórios, sendo fixos maioritariamente em zonas de circulação e WC e giratórios nas restantes tipologias de espaços, como por exemplo, salas de aula e gabinetes. Na Tabela 6.3 são apresentadas as características de cada tipo de envidraçado.

Tabela 6.3 – Características dos vãos envidraçados da envolvente (Saint-Gobain).

	Espessura	Fator solar do vidro (g)	U
Vidro simples	6	0.82	5.7
	8	0.80	5.7
	10	0.80	5.6
	30	0.70	5.3
Vidro duplo	6+8	0.71	2.8
	8+8	0.71	2.8

6.1.3 Sombreamento

O Edifício II possui sombreamento fixo exterior de betão nas fachas a Sul, Oeste e Este (Figura 6.4). Estes estão colocados em torno das janelas, variando a sua posição de acordo com a fachada. Na fachada Norte apenas existe sombreamento móvel recorrendo a estores microperfurados (estores de

rolo) de cor clara, colocados pelo interior ou estores de persianas de cor branca, colocados pelo exterior, que podem ser acionados pelos ocupantes (Figura 6.5).

Contudo, as restantes fachadas que possuem sombreamento exterior fixo, também podem apresentar sombreamento móvel (estores microperfurados ou de persianas) conforme a zona, isto é, todas as zonas exceto WC, zonas de circulação e zonas sem vãos envidraçados, apresentam sombreamento móvel de um destes dois tipos. Geralmente os estores de rolo estão colocados na fachada Norte e os estores de persianas estão colocados nas fachadas Sul, Oeste e Este, à exceção dos gabinetes dos docentes que apresentam sempre estores de persianas independentemente da fachada.



Figura 6.4 – Sombreamento fixo do Edifício II.



Figura 6.5 – Sombreamento móvel: estores de persianas e estores microperfurados.

6.1.4 Inércia Térmica

O método de cálculo da classe de inércia térmica de um edifício é descrito no Despacho n.º 15793-K/2013 do Decreto-Lei n.º 18/2013, onde se especificam os elementos do edifício que contribuem para o armazenamento de calor, tais como, as superfícies exteriores em contato com outras frações autónomas ou com espaços não úteis; os elementos em contacto com o solo e os elementos interiores de compartimentação (paredes e pavimentos internos).

Num edifício, a inércia térmica representa a sua capacidade de resistir às variações de temperatura resultantes da transferência de calor entre o exterior e o interior. A classe de inércia térmica é dada pelo cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , e calcula-se através da expressão numérica (4):

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [kg/m^2] \quad (4)$$

onde:

M_{si} representa a massa superficial útil do elemento i , em $[kg/m^2]$

r representa o fator de redução da massa superficial útil

S_i representa a área da superfície interior do elemento i , $[m^2]$

A_p representa a área interior útil de pavimento, $[m^2]$

Na Tabela 6.4 apresentam-se os elementos considerados no cálculo de I_t (omitindo os elementos construtivos que não contribuem para a inércia térmica).

Tabela 6.4 – Cálculo da Inércia térmica do edifício.

Elemento de construção		Fator de redução	Msi $[kg/m^2]$	Si $[m^2]$	Msi.r.Si/Ap
Paredes exteriores	Betão	1	1499	2508	185
	Tijolo	1	1322	1700	110
Paredes interiores	Betão	1	1829	271	24
	Tijolo	1	1488	1076	79
Pavimento em contacto com o solo		1	1500	1614	119
Área útil de pavimento, A_p $[m^2]$			20263		
Massa superficial útil/ m^2 de área pavimento, I_t $[kg/m^2]$		519 (>400) – Inércia Térmica Forte			

A massa superficial útil por unidade de área de pavimento é de 519 kg/m^2 para o Edifício II, o que o torna um edifício de classe de inércia térmica forte, uma vez que I_t é superior a 400 kg/m^2 .

6.1.5 Sistemas de Climatização

Relativamente à climatização do edifício, o aquecimento e arrefecimento do ar é assegurado por equipamentos como: *chillers*, bombas de calor, caldeiras a gás natural, unidades *close control* e sistemas VRV. Os equipamentos terminais, que difundem o ar tratado pelos diversos espaços climatizados, são ventiloconvectores. A zona técnica de AVAC está instalada na cobertura do edifício, onde ocorre a insuflação e exaustão do ar, à exceção do corpo A que tem a UTA instalada na cave (pisso -1) do Grande Auditório.

Uma vez que o Edifício II está dividido em corpos, embora ligados entre si, também o sistema de climatização é independente para cada corpo. A rede hidráulica de distribuição é realizada maioritariamente a 4 tubos (dois para aquecimento, dois para arrefecimento), embora no corpo C exista uma rede hidráulica apenas a 2 tubos (realiza apenas aquecimento). Na Tabela 6.5 é possível observar quais os espaços que cada equipamento de climatização alimenta.

Tabela 6.5 – Distribuição dos equipamentos de climatização no Edifício II.

	Quantidade	Espaço Climatizado
<i>Chiller</i>	3	1 para cada corpo (B, C e D)
Bomba de Calor	1	Corpo A
Caldeira	9	4 no Corpo B, 3 no Corpo C e 2 no Corpo D
UTAs	4	1 no Corpo A, 1 no Corpo B e 2 no Corpo C
UTANs	7	2 no Corpo B, 3 no Corpo C e 2 no Corpo D
<i>Unidade Close Control</i>	2	Centro de Dados (Corpo C)
Sistema VRV (CEDs)	28	Laboratórios Informática (Corpo D)
Sistema VRV (UCC)	3	Laboratórios Informática (Corpo D)
Ventiloconvector (2 Tubos)	52	Distribuídos por Corpo A e C
Ventiloconvector (4 Tubos)	283	Distribuídos por Corpo B, C e D

Espaços como laboratórios de informática e Centro de Dados têm sistemas de climatização independentes dos outros espaços, uma vez que é necessário garantir condições térmicas muito rígidas. No caso dos laboratórios de informática estes recebem ar que vem da UTAN do edifício D e este é climatizado por sistemas VRV que realizam o arrefecimento do ar, contrariando os ganhos internos presentes no espaço, admitidos por equipamentos elétricos e pessoas. Foi necessário a instalação de equipamentos adicionais com maiores capacidades uma vez que o sistema centralizado do corpo D, não permitia atingir as condições térmicas de conforto dentro do espaço, já que estes espaços têm condições de funcionamento extremamente severas em termos térmicos. Isto deve-se ao elevado número de ocupantes por sala e à elevada densidade de equipamento informático, com significativa dissipação térmica, tendo a agravante de funcionarem em regime quase contínuo, praticamente todo o dia e início da noite. Para acentuar o problema, o facto de as portas destes laboratórios de informática permanecem fechadas fora dos tempos letivos por questões de segurança (roubo de equipamento), não permite que o espaço tenha ventilação e não sobreaqueça, já que os equipamentos informáticos não são desligados, permanecendo em *standby* e por isso debitando calor para o espaço.

O sistema VRV instalado é composto por uma Unidade Compressora-Condensadora, UCC/D/1.LAB, localizada no exterior (Figura 6.6), de expansão direta de volume de refrigerante variável (VRV) composta por invólucro, compressores, ventiladores e permutadores, da qual sai uma linha de refrigerante (líquido + gás), em tubo de cobre isolado, que alimenta as unidades climatizadoras

interiores, CEDs (Climatizadores de Expansão Direta) que são difusores circulares ligados à conduta montada na horizontal no interior das salas (Figura 6.7).



Figura 6.6 – Sistema VRV.



Figura 6.7 – Unidades interiores (CEDs).

Para o Centro de Dados, pela mesma necessidade de contrariar as cargas internas, foi necessário instalar um sistema de climatização independente. Este é uma Unidade UCL260 + CC260 do tipo "*close control*", de expansão direta com condensação a ar, de configuração modular, utilizando R407C no circuito frigorífico (refrigerante ecológico). É composta por uma unidade interior vertical, UCL260 (Figura 6.8), de insuflação pelo pavimento e retorno pela parte superior da unidade e por uma unidade exterior, o condensador, CC260 arrefecido a ar, com permutador em tubo de cobre expandido e alhetas de alumínio. Existe uma segunda Unidade UCL260 que assegura a redundância a 100 % do sistema, trabalhando em alternância com a outra unidade, dando maior fiabilidade ao sistema de climatização.



Figura6.8 – Unidade *Close Control* UCL260.

As características de cada equipamento de climatização são apresentadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Especificações dos equipamentos de climatização do edifício.

Equipamento	Referência	Quantidade	Potências térmicas (kW)		ERR	COP	Eficiência
			Arrefecimento	Aquecimento			
Caldeira	G-400 / 425	4	---	507.0	---	---	92%
Caldeira	G-400 / 260	3	---	310.0	---	---	92%
Caldeira	G-400 / 215	2	---	253.0	---	---	92%
Bomba de Calor	YCAM / H 150	1	145.0	150.0	3.0	3.1	---
<i>Chiller</i>	YCAM 525	1	507.0	---	3.5	---	---
<i>Chiller</i>	YCAM 400	1	322.0	---	3.1	---	---
<i>Chiller</i>	YCAM 450	1	333.0	---	2.6	---	---
UCL	UCL260	2	26.0	---	---	---	---
Sistema VRV (UCC)	SPW- C1405DXHN8	1	45.0	50.0	3.4	3.8	---
Sistema VRV (UCC)	SPW- C1155DXHN8	1	33.5	37.5	3.5	3.9	---
Sistema VRV (UCC)	SPW- C0905DXHN8	1	28.0	31.5	3.5	4.1	---
Sistema VRV (CED)	CED30	2	3.0	---	---	---	---
Sistema VRV (CED)	CED45	22	4.5	---	---	---	---
Sistema VRV	CED60	4	6.0	---	---	---	---

¹Sem significado ou não existe informação sobre o parâmetro em causa.

Equipamento	Referência	Quantidade	Potências térmicas (kW)		ERR	COP	Eficiência
(CED)							
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	7	2.5	1.5	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	8	3.5	1.5	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	17	2.0	1.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	14	3.0	1.5	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	42	4.0	2.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	7	6.0	3.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	10	14.0	7.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	172	1.5	0.8	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	1	6.5	3.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFC (4 tubos)	5	5.0	2.5	---	---	---
Ventiloconvectores	YFB (2 tubos) ²	17	---	2.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFB (2 tubos)	33	---	1.0	---	---	---
Ventiloconvectores	YFB (2 tubos)	2	---	1.5	---	---	---

6.1.6 Ventilação

O sistema de distribuição de ar associado ao sistema de climatização é composto por UTAs responsáveis pela admissão e tratamento do ar que é insuflado em cada espaço e por UTANs, que para além de admitirem e tratarem o ar, fazem insuflação de ar novo (100 % ar do exterior, não existindo recirculação de ar). A Tabela 6.7 permite identificar as unidades existentes bem como os caudais de ar admitidos e os espaços climatizados por cada equipamento.

Tabela 6.7 – Equipamentos de Ventilação.

Equipamento	Referência	Caudal de ar novo [m³/h]	Espaços afetos	
			Corpo	Espaços
UTAN	UAP/B.7.2	15000	Corpo B	Pisos 0 a 3
UTAN	UAP/B.7.1	12000	Corpo B	Biblioteca
UTA	UTA/B.7.1	3000	Corpo B	Biblioteca Piso6
UTA	UTA/C1	3800	Corpo C	Auditório C1.04
UTA	UTA/C2	3800	Corpo C	Auditório C1.03
UTAN	UAP/C3	14400	Corpo C	Pisos 0, 2 e 3
UTAN	UAP/C2	14300	Corpo C	Pisos 5 e 6

²Ventilador YFB (2 tubos) significa que este modelo apenas realiza aquecimento.

Equipamento	Referência	Caudal de ar novo [m³/h]	Espaços afetos	
			Corpo	Espaços
UTAN	UAP/C1	14250	Corpo C	Pisos 4 e 7
UTAN	UAP 1	14800	Corpo D	Pisos 0 a 6
UTAN	UAP 2	14800	Corpo D	Pisos 0 a 6

Existem vários ventiladores de extração de ar associados ao sistema de distribuição de ar, embora não se saiba informação sobre os equipamentos instalados.

Muitas salas possuem grelhas de parede, principalmente no Corpo C, que permitem que o ar circule do interior das salas para o exterior e vice-versa, por diferenças de pressão, sem recorrer a nenhum sistema mecânico.

6.1.7 Iluminação

Foi realizado um inventário tão exaustivo quanto possível de todo o sistema de iluminação, abrangendo todos os espaços e tipos de iluminação, à exceção da iluminação de emergência que sai do âmbito desta dissertação. Uma vez que os perfis de funcionamento do sistema de iluminação são variáveis e dependem da tipologia de espaço e dos seus ocupantes, estes foram estimados com base nas informações fornecidas pela equipa de manutenção.

Efetuuou-se uma análise de comparação de modo a determinar se a iluminação realmente existente era compatível com o projeto de iluminação fornecido, concluindo-se que existiram algumas alterações de iluminação que não constam no projeto inicial, sendo que a mudança mais significativa foi ao nível da iluminação da biblioteca onde muitas lâmpadas foram substituídas por soluções mais eficientes.

Face aos restantes edifícios do *Campus ISCTE - IUL*, o Edifício II é o que apresenta uma maior variedade de tecnologias de iluminação. A tecnologia predominante é a fluorescente tubular T8 seguida da tecnologia fluorescente compacta (Fluo. Compacta). A tecnologia fluorescente tubular encontra-se maioritariamente nas salas de aulas/reuniões/estudo, gabinetes, laboratórios de informática/investigação e corredores. É possível encontrar também tecnologia fluorescente tubular T5 no edifício (tecnologia mais eficiente), ainda que seja num número muito reduzido. A tecnologia fluorescente compacta encontra-se essencialmente em instalações sanitárias e corredores. As lâmpadas de halogéneo estão presentes nos auditórios, corredores e biblioteca. Existem ainda lâmpadas de vapor de mercúrio, incandescentes e de iodetos metálicos (parcela “Outros” na Figura 6.9), embora numa quantidade ínfima pois já são lâmpadas obsoletas. É possível observar esta distribuição na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Distribuição quantitativa das lâmpadas instaladas por tecnologia.

Tecnologia	Nº Lâmpadas
T8 (G13)	2734
T5 (G5)	234
Fluo. Compacta	883
Halogéneo	441

Tecnologia	Nº Lâmpadas
Incandescente	108
Vapor de Mercúrio	50
Iodetos Metálicos	2

Contudo, apesar de a tecnologia fluorescente tubular T8 e a fluorescente compacta serem as tecnologias que existem em maior número no edifício, em termos de potência instalada a maior parcela corresponde às fluorescentes tubulares T8 mas seguida das lâmpadas de halogéneo. Isto deve-se ao facto de as lâmpadas de halogéneo serem uma tecnologia menos eficiente que as fluorescentes compactas, consumindo mais energia para obter a mesma luminosidade. A percentagem de potência instalada para cada tecnologia existente, está ilustrado na Figura 6.9. Esta potência tem em conta a potência das lâmpadas e também o balastro instalado.

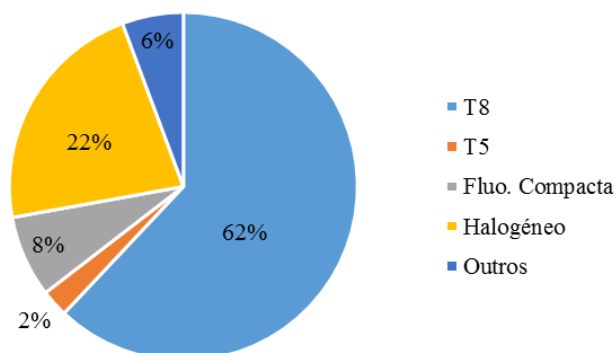


Figura 6.9 – Percentagem da potência instalada no edifício por tipo de tecnologia de lâmpadas.

Na Tabela 6.9 é possível perceber qual a distribuição da potência instalada por tipologia de espaço bem como a sua densidade de potência. Como se pode observar, a tipologia com maior potência instalada são os gabinetes seguidos das zonas de circulação e das salas de aula. Embora estes espaços apresentem maiores valores de potência instalada, não significa que sejam grandes consumidores uma vez que o seu consumo depende do perfil de utilização do espaço e da sua área.

Relativamente à densidade de potência é possível constatar que as escadas são dos espaços que mais consomem energia por unidade de área. Este valor é uma exceção relativamente às outras tipologias e isto deve-se ao facto de, nestes espaços se encontrarem instaladas as tecnologias mais obsoletas, como as lâmpadas de vapor de mercúrio e os iodetos metálicos, que são lâmpadas de grandes potências e estão instaladas em locais com áreas reduzidas. Mais uma vez, os gabinetes são a tipologia com maior densidade de potência, seguida dos WC e das salas de reuniões.

Tabela 6.9 – Potência instalada e densidade de potência por tipologia de espaço.

	Área [m²]	Potência [W]	DPI [W/m²]
Arquivo	640	3205	4.8
Auditório	2 175	19 247	8.4

	Área [m ²]	Potência [W]	DPI [W/m ²]
Biblioteca	3 304	16 390	4.7
Centro de Dados	61	675	10.9
Circulação	3 935	23 026	5.3
Escadas	95	9825	98.3
Gabinete	2 930	43 427	13.4
WC	397	5354	12.8
Laboratórios de Informática	936	9 398	9.5
Laboratórios de Investigação	300	2 575	8.1
Receção	43	242	5.5
Restauração	508	5088	9.5
Salas de Aula	1 923	22 095	10.3
Sala de Conferências	1 401	15 422	10.5
Salas de Estudo	298	3600	11.5
Sala de Refeições	380	2 644	6.4
Salas de Reuniões	183	2 328	12.1
Sala de Seguranças	76	540	6.8
Salas de Arquitetura	534	5 040	9.0
Zonas técnica	143	990	6.6

6.1.8 Equipamentos elétricos

Também neste sector foi realizado um levantamento tão exaustivo quanto possível, de todos os equipamentos existentes no edifício. Os seus perfis de utilização por serem demasiado díspares e não existir um perfil de utilização conhecido com exatidão, foram estimados com base nas informações fornecidas nas várias reuniões e visitas realizadas ao local. No levantamento realizado, a potência de cada aparelho foi verificada em particular, sempre que era possível através de *datasheets* ou recorrendo à etiqueta técnica presente no aparelho. Caso o aparelho não apresente *datasheet* documentada nem etiqueta técnica, a potência contabilizada foi a fornecida através da base de dados da ASHRAE para cada equipamento específico (ASHRAE, 2008).

O edifício possui os equipamentos espectáveis para um edifício educacional, como computadores de secretária; computadores portáteis; fotocopiadoras multifunções localizadas nos corredores; projetores nas salas de aula; micro-ondas nas salas de refeições; três elevadores no corpo C e dois no corpo D; equipamentos de cozinha (forno, torradeiras, entre outros) e quatro *vending machines* localizadas nas zonas de circulação (duas no piso 2 e duas no piso 3 do corpo C).

A Tabela 6.10 exhibe a densidade de equipamentos elétricos por tipologia de espaço do Edifício II, onde é possível constatar que os espaços de restauração são os que apresentam maior densidade de equipamentos, 354 W/m², pois é onde se localizam um maior número de equipamentos (com elevada potência elétrica) numa área relativamente pequena, tais como, exaustores, torradeiras, fornos, micro-ondas, entre outros, seguidos dos laboratórios de informática com 57 W/m², pelo facto de também apresentarem um grande número de equipamentos, podendo este número chegar aos 55 computadores de secretária, por laboratório.

Tabela 6.10 – Densidade média de equipamentos por tipologia de espaço.

Tipologia	Densidade Média de Equipamento [W/m ²]
Gabinetes	15
Sala de Conferências	3
Auditórios	1
Laboratório de Informática	57
Sala de Aula	8
Sala de refeições	6
Restauração	354
Circulação	6
Biblioteca	7
Centro de dados	3

No total, o Edifício II apresenta uma densidade de potência de equipamentos de 17 W/m², valor relativamente próximo do valor de referência para edifícios deste tipo, que segundo a ASHRAE varia entre de 10.8 W/m² e 16.1 W/m² para edifícios com cargas de equipamentos médias a elevadas (ASHRAE, 2008).

6.1.9 Consumo energético

O consumo de energia no Edifício II é feito recorrendo principalmente à eletricidade e ao gás natural como fonte de energia. A empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica é a IBERDROLA, mediante um contrato de Média Tensão e um tipo de tarifa tetra-horária. Relativamente ao gás natural, a empresa responsável é a Galp Energia.

Existe um ponto de abastecimento exclusivamente para o Edifício II (ponto 2) com 671 kW, os restantes edifícios do *Campus ISCTE – IUL* possuem o mesmo ponto de abastecimento (ponto 1). Tendo por base as faturas disponibilizadas, o consumo de eletricidade teve um custo médio de 12 c€/kWh, tendo em conta apenas os custos relacionados com a energia ativa disponibilizados para um mês de exemplo (os custos de energia reativa e os impostos não foram incluídos). A Equação (5) apresenta como se calculou este valor. Os valores das variáveis são todos apresentados em euros.

$$Tarifa\ elétrica\ [€/kWh] = \frac{CEF + CRE + CPC}{EF} \quad (5)$$

onde:

CEF representa o somatório dos custos da energia faturada por período horário

CRE os custos relativos às redes de energia

CPC o encargo derivado da potência contratada pela instituição

EF refere-se à energia consumida durante o período de contabilização

O edifício utiliza energia térmica durante a estação de aquecimento (cerca de 6 meses), recorrendo ao gás natural como fonte de energia, em caldeiras de água quente que fornecem o sistema de climatização da maioria do edifício. Em paralelo, estas caldeiras fornecem água quente a um ginásio existente no Edifício II, embora o seu consumo seja residual, uma vez que este apresenta uma utilização mínima. A restauração apresenta uma faturação de gás independente do *Campus ISCTE - IUL* e à qual não nos foi possível ter acesso, logo todo o consumo de gás natural apresentado não inclui os consumos referentes a estes espaços. Durante a estação de arrefecimento, o sistema de climatização é alimentado por *chillers*, que consomem energia elétrica.

A evolução média mensal dos consumos globais de energia associados ao Edifícios II, registados nos anos 2011, 2012 e 2013 estão expressos na Figura 6.10. É visível o aumento de consumo da energia térmica na estação de aquecimento, o que era espectável uma vez que este é quase exclusivamente utilizado para climatização, o seu consumo chega a ser o dobro do consumo de energia elétrica no mesmo espaço temporal.

O edifício consome anualmente (considerando os dados dos anos acima referidos) uma média de 2 757 MWh de energia, correspondendo 1 615 MWh a energia elétrica, o que representa 59 % do consumo de energia global, e 1 142 MWh a energia térmica (restantes 41 %).

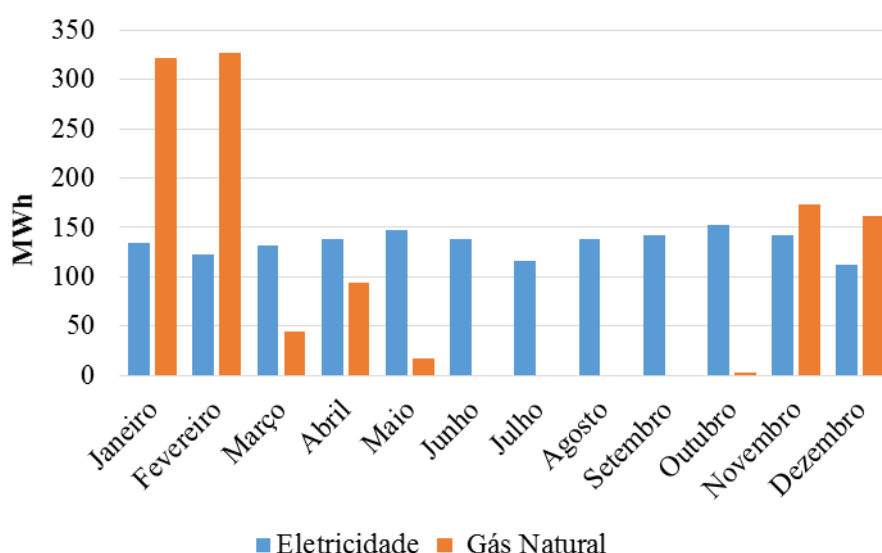


Figura 6.10 – Evolução mensal dos consumos globais de energia do edifício.

6.2 Simulação dinâmica em condições reais

Para realizar a simulação dinâmica desta auditoria energética foi necessário, primariamente, construir um modelo de simulação que fosse capaz de representar o Edifício II, em condições reais de funcionamento. A criação deste modelo é um processo iterativo e não um processo estático, uma vez que a análise dos resultados de cada simulação gera repetidamente ajustes no modelo de modo a torná-lo uma aproximação fidedigna da realidade. O *software* utilizado nesta simulação foi o *EnergyPlus*, versão 8.1.0.009.

Nesta Secção descreve-se detalhadamente, a metodologia utilizada para a simulação, cumprindo sempre os requisitos legais imposto pelo RECS para edifícios de serviços, como é o caso do edifício em análise e considerando o ficheiro climático referido anteriormente na Secção 6.1.1.

6.2.1 Modelo geométrico

A construção do modelo geométrico foi realizada recorrendo à ferramenta *Google SketchUp Pro*, versão 8.0.4811, que permite a reprodução gráfica do modelo geométrico do edifício (paredes, sombreamentos e vãos envidraçados) que são posteriormente caracterizados no *EnergyPlus*, de modo a obter toda a simulação energética multizona detalhada do edifício em estudo.

Na Figura 6.11 é possível observar o modelo geométrico construído que representa o Edifício II com vista para as diferentes fachadas e com os sombreamentos fixos representados. Na imagem da esquerda está caracterizada as fachadas Oeste e Sul, na imagem da direita a fachada Norte e na imagem ao centro, está representada a fachada Sul e Este.

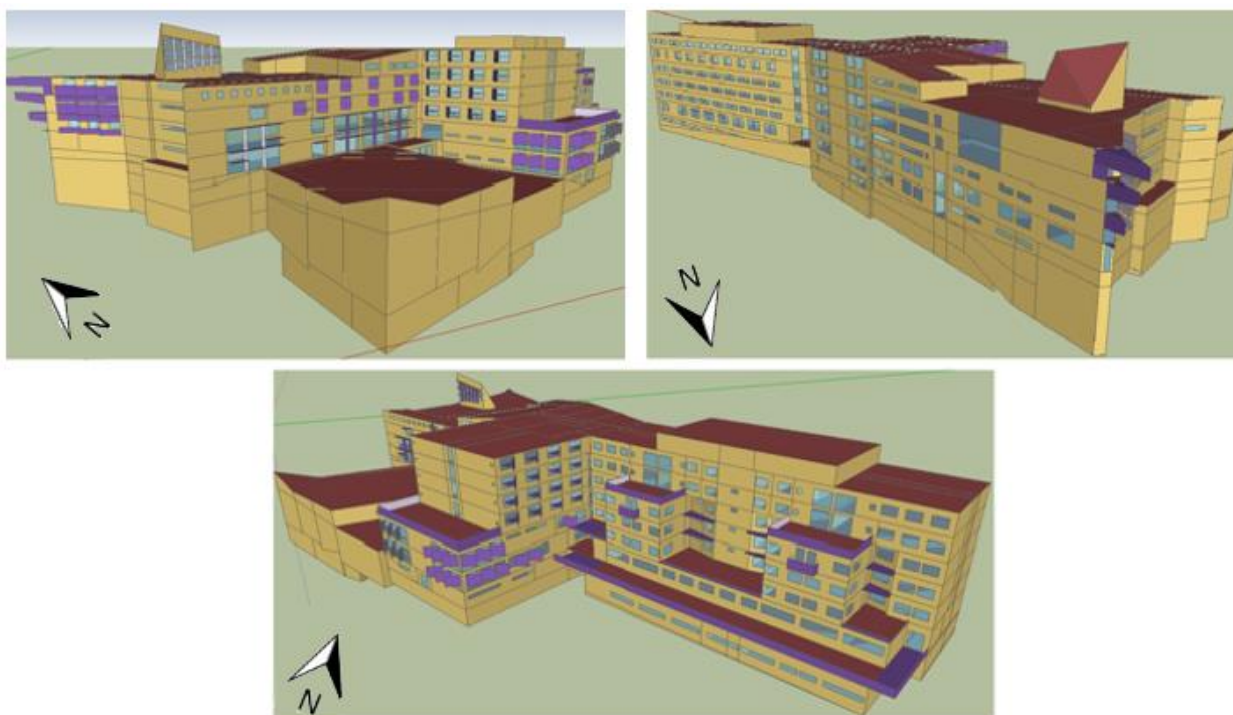


Figura 6.11 – Modelo geométrico do Edifício II (imagens do *Google SketchUp Pro*).

6.2.2 Zonamento térmico

Segundo o RECS, deve realizar-se um zonamento térmico do edifício em estudo, isto é, deve caracterizar-se cada zona térmica do edifício tendo em consideração as características de ocupação dos espaços, os sistemas técnicos instalados, a orientação dos mesmo, a exposição solar, entre outros parâmetros que permita simular os consumos energéticos e necessidades desses espaços. Cada zona

térmica deve ser simulada de forma autónoma, podendo ser feita uma agregação de espaços caso tenham características semelhantes relativamente aos parâmetros descritos anteriormente.

Assim é possível observar pela Figura 6.12, Figura 6.13, Figura 6.14 e Figura 6.15, o zonamento térmico considerado para o Edifício II. Apenas foram apresentados os pisos *standard* do zonamento, uma vez que o edifício tem no máximo 8 pisos. Foram então, caracterizados os pisos representativos das multizonas térmicas existentes por cada piso, de modo a não tornar o presente documento exaustivo.



Figura 6.12 – Zonamento térmico do piso 1 para o Edifício II.



Figura 6.13 - Zonamento térmico do piso 3 para o Edifício II.



Figura 6.14 - Zonamento térmico do piso 5 para o Edifício II.

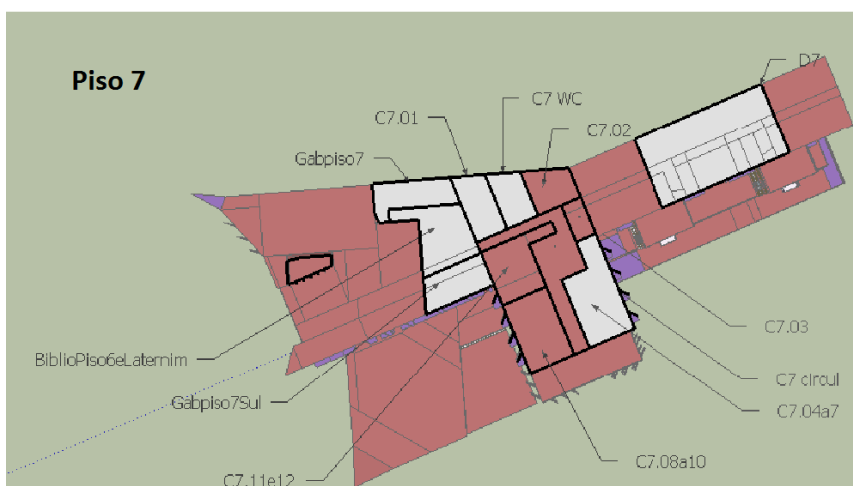


Figura 6.15 - Zonamento térmico do piso 7 para o Edifício II.

6.2.3 Soluções construtivas

No âmbito do RECS existem certas condições impostas na aplicação do método de simulação dinâmica multizona (método utilizado nesta simulação dinâmica) no que diz respeito às soluções construtivas do edifício, nomeadamente, as pontes térmicas dos edifícios. Existem determinadas zonas dos elementos construtivos do edifício, em que ocorrem alterações das propriedades e da geometria dos materiais dando origem a pontes térmicas. As pontes térmicas dividem-se em dois tipos: as planas onde as linhas do fluxo de calor são retilíneas e surgem de um processo unidirecional e as lineares, onde o fluxo de calor passa a ser bidimensional ou tridimensional no caso de pontes térmicas pontuais.

A existência destas pontes térmicas prejudica para o desempenho energético do edifício, uma vez que são responsáveis pela diminuição da resistência à passagem de calor, potenciando o risco de condensações e anomalias construtivas e/ou funcionais.

Neste sentido, foi necessário majorar as necessidades globais de aquecimento e arrefecimento em 5 % e majorar em 35 % o valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício (condição imposta no RECS para considerar a existência de pontes térmicas).

Como dito anteriormente na Secção 6.1.2, apenas foram apresentadas e descritas algumas das soluções construtivas relativamente à envolvente opaca, mas na simulação foram consideradas todas as soluções construtivas a nível de paredes, pavimentos, tetos e coberturas existentes no próprio edifício, majorando as paredes exteriores em 35 %, como descrito anteriormente. Relativamente a vãos envidraçados e sombreamentos, foram considerados os descritos acima nas Secções 6.1.2.3 e 6.1.3.

Relativamente ao sombreamento móvel presente nos vãos envidraçados, este tem de ser acionado sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m^2 ou em contra partida, este sombreamento móvel esteja ativo a 60 % da área de vãos envidraçados (condição imposta pelo RECS na Tabela I.06).

6.2.4 Ganhos internos

As cargas internas consideradas na simulação dinâmica foram caracterizadas recorrendo a informação disponibilizada pelo ISCTE - IUL. Considerou-se que os ganhos internos de cada espaço se dividem em: Ocupação, Equipamentos elétricos e Iluminação. Estes variam sempre de acordo com a tipologia de espaço em análise.

6.2.4.1 Ocupação

Relativamente à ocupação dos espaços, os *inputs* admitidos na simulação dependem de espaço para espaço. Espaços como salas de aulas, auditórios, laboratórios de informática, entre outros, cuja informação de ocupação máxima foi fornecida pelo cliente, admitem sempre os valores conhecidos. Quando não existia esta informação para cada espaço, como por exemplo em espaços de ocupação variável ao longo do tempo (espaços de circulação, zonas técnicas, instalações sanitárias, entre outros) admitiu-se uma ocupação máxima de uma pessoa por hora.

Os gabinetes podem ser individuais ou coletivos. Existem gabinetes coletivos de dois tipos: os que são ocupados por apenas duas pessoas e os coletivos com ocupação até seis pessoas. Consoante cada caso, foi considerado o valor real de ocupação para cada gabinete.

Para casos com ocupações mais específicas, como a biblioteca e a restauração foram tidos em consideração os seguintes *inputs*:

- **Biblioteca**

Os *inputs* utilizados são os dados de ocupação máxima por piso da biblioteca, presentes no site da instituição de ensino. No piso 4 existe, para além do espaço de biblioteca, uma receção ocupada no máximo por três funcionários e uma área de serviços com gabinetes coletivos e individuais. Foram contabilizados nestes casos, os lugares sentados, fazendo o somatório de todos os valores de ocupação correspondentes a cada zona térmica.

- **Restauração**

A ocupação máxima para este espaço foi obtida através da contabilização dos lugares sentados na zona de refeições e contabilizaram-se ainda, cinco funcionários na cozinha e no máximo três funcionários no balcão.

Com este levantamento foi possível então a criação dos objetos de ocupação associados a cada zona térmica, embora estes ainda estejam sujeitos a perfis de utilização (*schedules*) definidos mais à frente.

6.2.4.2 Equipamentos elétricos

Para esta secção foi realizado um levantamento, o mais detalhado possível, para contabilizar o número de equipamentos por espaço. Considerou-se os seguintes valores relativamente a cada tipologia de espaço:

- **Arquivos:** nenhum equipamento elétrico;
- **Auditórios e Salas de aula:** um computador de secretária e um projetor;
- **Biblioteca:** para cada piso foram considerados valores de cargas internas diferentes. Para o piso 4 consideraram-se seis fotocopiadoras (duas na entrada principal e duas nos serviços da biblioteca), sete computadores de secretária (cinco para utilização dos alunos e dois na receção) e que metade da ocupação teria um computador portátil. No piso 5 foram considerados 24 computadores de secretária, 70 % da ocupação máxima teria um computador portátil e a existência de uma fotocopiadora. Relativamente ao piso 6, este foi caracterizado como tendo 11 computadores de secretária, uma fotocopiadora e 70 % da ocupação teria um computador portátil.
- **Centro de Dados:** um grupo de servidores (o valor utilizado como *input* considerado está na Tabela 6.11);
- **Espaços de circulação:** apenas no corpo C e D foram considerados equipamentos elétricos nestes espaços. No corpo C foram consideradas duas máquinas de *vending* no piso 2 e duas no piso 3 (pisos com restauração). No corpo D contabilizou-se para o corredor principal de cada piso uma fotocopiadora multifunções.
- **Gabinetes:** um computador de secretária por pessoa;
- **Laboratórios de informática:** considerou-se que o número de equipamentos é igual à ocupação máxima da sala, ou seja, por lugar sentado existe um computador de secretária (número de equipamentos verificado no local).
- **Laboratórios de investigação:** um computador portátil por pessoa;
- **Receção:** um computador de secretária;
- **Restauração:** considerou-se 0,8 kWh/ pessoa para a confeção de refeições (Thewes et al, 2014) e um micro-ondas.
- **Sala de conferências:** um computador de secretária, quatro projetores, e que 15 % da ocupação máxima da sala tinha um computador portátil.

- **Salas de estudo:** metade da ocupação máxima levava um computador portátil.
- **Salas de refeições:** dois micro-ondas;
- **Salas de reuniões e sala de segurança e zonas técnicas:** nenhum equipamento elétrico;
- **Salas de arquitetura:** um computador de secretária.

Mais uma vez, como já referido na secção anterior, estes dados permitiram criar objetos que representassem as cargas internas dos equipamentos elétricos, associados a cada zona térmica, embora estes ainda estejam sujeitos a perfis de utilização (*schedules*).

Na Tabela 6.11 é possível observar quais as características que foram consideradas para cada tipo de equipamento elétrico e qual foi a base científica para a sua utilização.

Tabela 6.11 – Potências consideradas na simulação para cada tipo de equipamento elétrico.

	Equipamentos	Fonte
Computadores de Secretária	107 W	(ASHRAE, 2008)
Computadores portáteis	30 W	(ASHRAE, 2008)
Fotocopiadoras	290 W	(ASHRAE, 2008)
Servidores	2.9 kW/m ²	(Ham. S et al, 2015)
<i>Vending Machine</i>	260 W	(ASHRAE, 2008)
Cozinha	0.8 kWh/pessoa	(Thewes. A et al, 2014)
Projetores	300 W	(ASHRAE, 2008)
Elevadores	4000 W	(OTIS, 2013)
Micro-ondas	1.2 kW	(ASHRAE, 2008)

6.2.4.3 Iluminação

Como *inputs* para a simulação dinâmica no âmbito da iluminação, considerou-se os valores reais existentes em cada zona térmica, que foram facultados pela instituição de ensino em formato digital. A potência considerada para cada zona térmica é o somatório da potência reais instaladas nos espaços que pertencem à mesma zona (Secção 6.1.7). Mais uma vez, este tipo de objeto está sujeito a perfis de utilização (*schedules*), como os objetos anteriores, que serão definidos na Secção 6.2.7.

6.2.5 Climatização

Devido às dimensões do sistema de climatização do Edifício II e à sua complexidade, optou-se por realizar a simulação dinâmica com uma ferramenta do *EnergyPlus* que permite simplificar o sistema não acarretando erros e mantendo a simulação fidedigna à realidade. Assim utilizou-se o objeto “*HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*” que pode ser pensado como uma unidade ideal que mistura de ar novo do exterior com a ar saturado da zona e, em seguida, adiciona ou remove calor e

humidade com uma eficiência de 100 % (sistema ideal), a fim de produzir uma corrente de ar de alimentação, nas condições especificadas. Utilizando este objeto é necessário efetuar uma afinação dos resultados da simulação, utilizando o Excel, em que é então contabilizada a eficiência real do sistema de climatização.

É fundamental definir um outro objeto que represente o termostato responsável pelo controlo de temperatura da zona, para que o objeto “*HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*” funcione corretamente. Definiu-se então um termostato para as temperaturas da zona entre 20 e 25°C, ativo sempre que o sistema de AVAC funcione. Este permite manter a zona térmica sempre nestes intervalos de temperatura, requisito imposto pelo RECS.

Os caudais de ar novo considerados como *inputs* na simulação para as zonas térmicas têm um condicionante imposto pelo RECS. Segundo este, existe um caudal de ar novo mínimo obrigatório por razões de saúde e/ou segurança e para o determinar é necessário recorrer à Portaria n.º 353-A/2013 do Decreto-Lei nº 18/2013. Após a análise desta portaria, procedeu-se ao cálculo dos caudais mínimos de ar novo a introduzir nos espaços, através do método prescritivo. Este método baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga de poluentes devido aos ocupantes e do tipo de atividade física desenvolvida no espaço (Anexo II) e ao próprio edifício e do seu tipo de matérias de construção (Anexo III). Assim, o caudal mínimo de ar novo a considerar, por aplicação deste método, é o maior dos valores determinados para os dois tipos de carga de poluentes descritos.

Deste modo, sempre que o cálculo deste caudal mínimo for superior ao caudal que consta nos projetos do circuito hidráulico e aerológico disponibilizados pelo *Campus ISCTE – IUL*, para cada espaço, na simulação dinâmica, o RECS obriga a que o caudal mínimo de ar novo seja o calculado através deste método. Caso contrário, utilizam-se os valores reais introduzidos no espaço, desde que sejam superiores aos caudais mínimos de ar novo calculado pelo método prescritivo.

6.2.6 Infiltração

Como na realidade não existem zonas nem espaços estanques, todos os espaços estão sujeitos a infiltrações de ar exterior a eles, variando consoante as diferenças de pressão dos espaços. Neste sentido, foi necessário representar este panorama também na simulação dinâmica. Considerou-se tendo em conta as frestas existentes, imperfeições nas construções, etc. o valor de 1 RPH em todos os espaços do edifício.

6.2.7 Perfis de utilização

Devido ao Edifício II apresentar espaços de diferentes tipologias, os perfis de utilização são muito variados consoante a zona térmica em questão, pelo que definir perfis de utilização para cada espaço como salas de aula, salas de reuniões, espaços de circulação, entre outros, apresenta uma dificuldade acrescida. Cada sala de aula tem o seu próprio horário de funcionamento e este depende da época do ano letivo (época de exames ou período de aulas normal), bem como cada espaço de circulação, WC,

salas de reuniões, entre outros espaços, são zonas de utilização pontual sendo assim necessário realizar algumas simplificações para que a utilização de uns espaços compense a de outros, que estejam inseridos na mesma zona térmica.

É ainda de salientar, que as percentagens utilizadas dependem de alguns fatores como, o número de espaços que estão agrupados na mesma zona térmica, o tipo de utilização que cada um tem, entre outros, de modo a balancear, o mais fidedignamente possível, a realidade na simulação dinâmica.

Os perfis de utilização, ou também definidos como *schedules*, utilizados para definir a ocupação, iluminação e equipamentos para os diferentes tipos de espaços foram os seguintes:

- **Arquivo e zonas técnicas**

Relativamente a perfis de utilização, neste espaço específico, apenas foram considerados *schedules* de iluminação, uma vez que esta zona térmica não apresenta nem ocupação nem equipamentos elétricos. Considerou-se que estes espaços eram utilizados uma vez por mês, durante 15 minutos e por isso caracterizou-se o objeto de iluminação como estando ligado três horas por ano.

- **Auditórios e Salas de aula**

Para esta tipologia de espaços considerou-se que os *schedules* iluminação, equipamentos elétricos e ocupação dependiam uns dos outros, isto é, só estariam ligadas as luzes e os equipamentos caso houvesse ocupação dos espaços. Assim, considerou-se que estes espaços estavam ocupados das 9 horas às 13 horas, considerando uma hora de almoço em que não existe ocupação e retomando novamente às 14 horas até às 17 horas, em período de aulas normal. Caso se tratasse da época de exames, então estes espaços teriam três exames por dia, cada um com duração de três horas.

Quando se define os *schedules*, estes são caracterizados através de uma percentagem de utilização. Para a ocupação estimou-se que em época de exames as salas estariam ocupadas em 80 % e no período de aulas normal, estariam ocupadas em 50 % da ocupação máxima. Relativamente aos equipamentos e luzes, sempre que era considerada ocupação, estes estariam ligados a 100 %.

- **Biblioteca e Salas de estudo**

Neste espaço foram definidos dois tipos de *schedule*, um para a biblioteca geral de funcionamento público e outro para os serviços da biblioteca de acesso restrito a funcionários. Para a biblioteca geral, utilizou-se a mesma base de pensamento já descrito na tipologia anterior, em que os três tipos de *schedule* (iluminação, equipamentos e ocupação) estão relacionados entre si. Definiu-se estes *schedule* de acordo com o horário de funcionamento da biblioteca, e por essa razão, o perfil de utilização de iluminação e equipamentos funciona das 9 horas até às 21 horas aos dias de semana e das 10 horas às 13 horas, a 100%. O *schedule* da ocupação, para o período normal de aulas, varia a sua percentagem de ocupação dos 25 % até aos 65 %, consoante as diferentes alturas do dia (no período da manhã e da tarde considerou-se maiores percentagens de ocupação). Para a época de exames a ocupação varia dos 30 % aos 80 %, apresentando maior ocupação uma vez que este espaço é mais utilizado nessas alturas do ano.

As salas de estudo foram caracterizadas como estando em funcionamento cinco horas por dia em época normal de aulas e sete horas por dia em época de exames. Os *schedule* de equipamentos e

iluminação estão ligados na totalidade sempre que existe ocupação. Considerou-se que as salas apresentavam uma percentagem de ocupação de 80 %.

Relativamente aos serviços da biblioteca, considerou-se que a iluminação, ocupação e equipamentos teriam o mesmo *schedule*, e que funcionam das 9 horas às 18 horas (nove horas diárias) a 100 %, à exceção do *schedule* de ocupação em que foi definida uma hora de almoço sem ocupação.

○ **Centro de dados**

Devido às necessidades especiais deste espaço, e sabendo que na realidade o Centro de Dados funciona 24 horas por dia, todos os dias do ano, foi caracterizado desta forma também na simulação. Este espaço apresenta um *schedule* definido como “*Always On*”, independentemente da altura do ano. A nível de iluminação e ocupação considerou-se o mesmo modo de funcionamento que nos arquivos.

○ **Espaços de circulação (instalações sanitárias, escadas e corredores)**

Nestes espaços os *schedule* de iluminação e equipamentos foram fáceis de definir, uma vez que é da responsabilidade da equipa de seguranças, ligar e desligar a iluminação a determinadas horas, deixando apenas alguns espaços iluminados 24 horas por dia. Estes *schedule* foram considerados em funcionamento das 6 horas às 24 horas, em que das 0 horas às 8 horas estão 20 % dos espaços de circulação com iluminação ligada, das 8 horas às 16 horas estão 50 % das luzes ligadas e desse período até às 24 horas está toda a iluminação ligada. Nas instalações sanitárias a iluminação é ligada às 8 horas e desligada às 22 horas e considerou-se uma pessoa por hora a utilizar o espaço.

○ **Gabinetes e Laboratórios de investigação**

Para estes espaços foi considerada as nove horas diárias de trabalho, mas a ocupação varia ao longo do dia, uma vez que os docentes dão aulas e por isso não estão a tempo integral nos gabinetes. O *schedule* de ocupação foi definido considerando que das 9 horas às 12 horas estavam 80 % dos gabinetes ocupados, que das 13 horas às 17 horas estavam 50 % deles ocupados e que das 17 horas às 18 horas estavam 90 % dos gabinetes ocupados.

Nesta Secção foi necessário pensar, em termos de *schedule* de ocupação, não só em termos de gabinete individual, mas também no conjunto de gabinetes que definiam a zona térmica, isto porque uma zona térmica no modelo de simulação do Edifício II pode conter até 20 gabinetes na mesma zona térmica. O *schedule* de iluminação nos gabinetes, como o controlo de iluminação depende apenas do utilizador, considerou-se que até às 16 horas as luzes estavam desligadas e que até às 18 horas as luzes estavam a funcionar na totalidade. Os equipamentos estão a funcionar sempre que o espaço está ocupado.

○ **Laboratórios de informática**

Nestes espaços a carga de ocupação é bastante elevada uma vez que estão em funcionamento quase todo o dia e são salas muito utilizadas nos cursos pós-laboral, o que resulta numa ocupação quase constante do espaço. Assim, considerou-se que a iluminação e os equipamentos estavam ligados sempre que houvesse ocupação do espaço. Os equipamentos apresentam uma percentagem

igual à da ocupação uma vez que existe sempre um computador por aluno. Assim, considerou-se que esta varia de 50 % a 70 % durante o dia.

Para a iluminação estipulou-se um *schedule* igual ao da ocupação e que esta está ligada das 9 horas às 23 horas, embora com períodos dentro deste horário sem ocupação.

○ **Restauração**

O horário de funcionamento da restauração é das 9 horas às 18 horas, sendo a hora de almoço o período com maior afluência de ocupação. Assim considerou-se que durante o período de funcionamento a iluminação e os equipamentos estavam sempre ligados. A nível de ocupação considerou-se que no período da manhã, das 9 horas às 12 horas e das 14 horas às 17 horas ter-se-ia uma ocupação máxima do espaço de 25 % e que no período de almoço (das 12h às 14h) a ocupação era de 80 %. Das 17 horas às 18 horas o espaço apenas apresenta 10 % da ocupação máxima.

○ **Sala de conferências e salas de reuniões**

Esta tipologia de espaços tem uma ocupação muito pontual, o que dificultou bastante a definição de um perfil de utilização para os mesmos. Considerou-se que as salas de conferências seriam utilizadas uma vez por semana durante três horas, de acordo com reuniões com os responsáveis por a área de eventos que ocorrem na instituição de ensino. Mais uma vez, a iluminação e os equipamentos elétricos só estão ligados e em plenitude, se o espaço estiver ocupado. Para o caso das salas de reuniões, tomou-se como base os mesmos parâmetros, embora que a nível de ocupação se tenha considerado que, estas são utilizadas uma vez por semana durante uma hora.

○ **Sala de refeições**

Este espaço teria uma ocupação apenas na hora de almoço (das 12 horas às 14 horas), em que se considerou cinco pessoas por hora no espaço. Para definir este valor, contabilizou-se as pessoas que utilizaram o espaço durante este período. Em termos de equipamentos e iluminação considerou-se que funcionam em pleno desde que o espaço apresente ocupação.

○ **Salas de arquitetura**

O horário de funcionamento destas salas é muito semelhante ao descrito para os auditórios e salas de aulas, embora com algumas diferenças uma vez que estas salas são utilizadas em regime livre e por isso podem ter ocupações aos fins-de-semana, desde que tenham autorização para tal. Assim, considerou-se que estas funcionam das 9 horas às 22 horas com uma percentagem de ocupação de 50 % e com iluminação e equipamentos ligados sempre que exista ocupação.

Falta ainda definir os perfis de utilização para os equipamentos de climatização e para a infiltração introduzida nos espaços. Os perfis de utilização considerados para os equipamentos de climatização estão apresentados na Tabela 6.12, o domingo não é definido uma vez que o edifício não está aberto ao público nesses dias e por norma, os equipamentos de climatização estão desligados.

Tabela 6.12 – Perfis de utilização considerados para cada equipamento de climatização.

	Dias úteis	Sábado
<i>Chillers</i>	8 horas às 22 horas	8 horas às 13 horas
Caldeiras	9 horas às 23 horas	9 horas às 13 horas
UTAN's e Ventiloconvectores	8 horas às 23 horas	8 horas às 14 horas
UTA's	8 horas às 21 horas	8 horas às 14 horas
Sistemas VRV	8 horas às 23 horas	8 horas às 14 horas
Unidade <i>Close Control</i>	24 horas por dia	24 horas por dia

Para o *schedule* da infiltração, considerou-se que sempre que os equipamentos de climatização estavam desligados, a infiltração estava ligada, apresentando desta forma, um *schedule* inverso ao do sistema de AVAC.

6.2.8 Calibração do modelo

A calibração do modelo é um processo iterativo de sucessivos ajustes que conduzem a que os resultados da simulação sejam os mais próximos possíveis do comportamento real do edifício. Neste sentido, no processo de calibração do modelo são comparados os consumos históricos registados pela faturação energética com os consumos previsto para o edifício, segundo a simulação.

É de salientar que a calibração do modelo não foi realizada considerando as condições a respeitar pelo RECS, referidas nas secções anteriores, mas sim as condições reais de funcionamento do edifício, de modo a verificar se a calibração do modelo está correta ou não.

Os principais parâmetros que sofreram ajustes foram: os perfis de utilização, as eficiências e COPs dos equipamentos de climatização e os consumos elétricos dos equipamentos existentes.

É espectável que os consumos resultantes da simulação e os consumos médios registados não apresentem valores totalmente concordantes, uma vez que a simulação é computacional e será sempre um método de cálculo aproximado da realidade, com algumas limitações e incorreções inevitáveis.

Após o processo de simulação obteve-se a evolução representada na Figura 6.16 e Figura 6.17 dos consumos globais de eletricidade e gás natural para os consumos resultantes da simulação e da faturação do edifício, respetivamente. É possível observar, na Figura 6.16, que o consumo de eletricidade nos meses de Julho e Agosto são ligeiramente discrepantes com os valores faturados. Isto deve-se possivelmente ao facto de ter sido considerado um período de férias em Agosto em que o consumo elétrico é mínimo, e em Julho devido ao fato de ter sido considerado um período de exames típico que pode não corresponder à média de consumos dos últimos três anos. Relativamente ao consumo de gás, podemos observar que nos primeiros meses do ano (Janeiro e Fevereiro) existe um consumo inferior no modelo simulado comparativamente ao consumo registado nas faturas, embora este consumo seja compensado nos meses seguintes (Março a Maio) em que o consumo simulado é superior ao consumo faturado pela Galp Energia. Tais resultados podem ter origem no facto de na

simulação se terem considerado cargas de aquecimento inferiores às existentes na realidade para os primeiros meses e cargas de aquecimento superiores para os meses de Março a Maio, embora no balanço final de cargas de aquecimentos acabem por se compensar, uma vez que o erro entre os valores registados e simulados é de apenas 1 %. Nos meses de Maio a Setembro as cargas de aquecimento são nulas, por se tratar de meses de arrefecimento, em que não é utilizado o gás natural para suprir necessidades de arrefecimento.

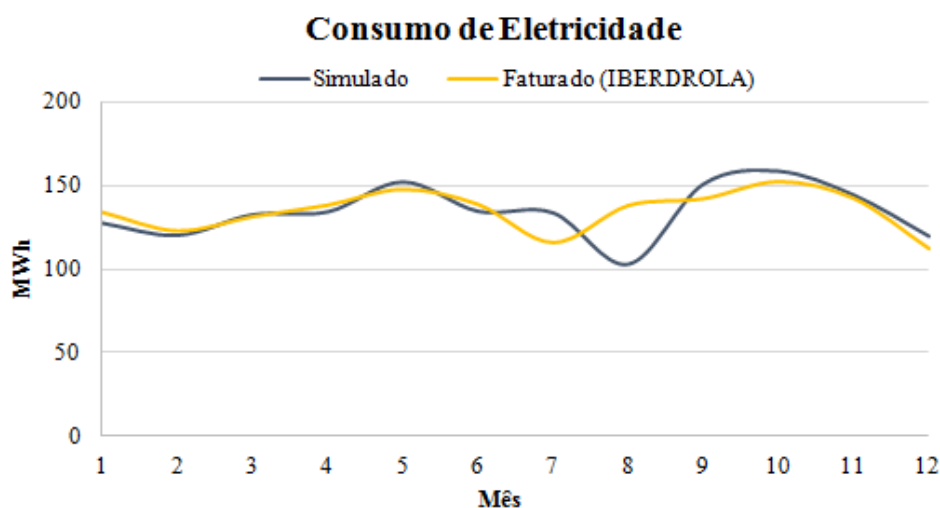


Figura 6.16 – Consumos elétricos resultantes da simulação e consumos faturados pela IBERDROLA ao longo do ano.

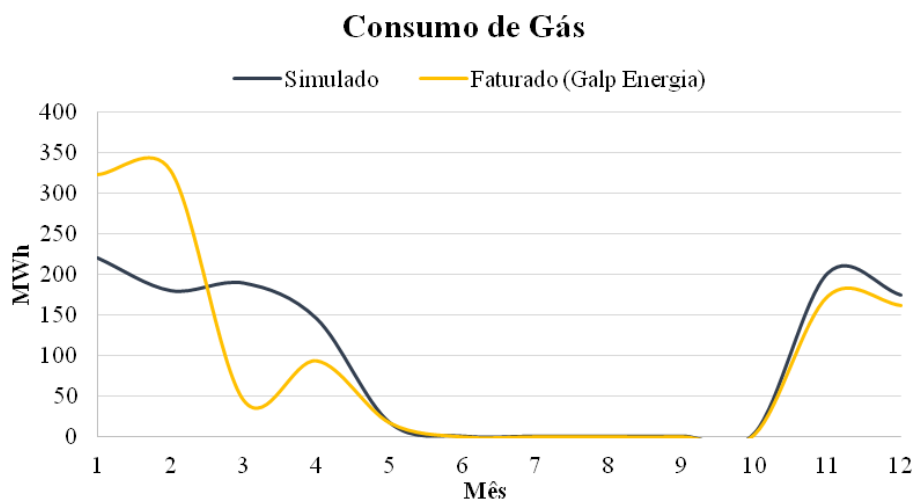


Figura 6.17 - Consumos de gás natural resultantes da simulação e consumos faturados pela Galp Energia ao longo do ano.

6.2.9 Resultados obtidos da simulação em condições reais

Após finalizar a calibração do modelo, os resultados finais para o consumo energético do edifício foram de 2 699 MWh, que representa uma diferença, relativamente ao valor faturado de 2 757 MWh, de 2%, apresentando um consumo por área de 133 kWh/m². Esta percentagem permite concluir que o modelo está bem calibrado, uma vez que os resultados simulados relativamente aos faturados devem apresentar uma diferença de $\pm 10\%$.

Os resultados obtidos para a desagregação de consumo energético do edifício estão apresentados na Figura 6.18 onde a parcela “Outros” abrange o consumo dos equipamentos elétricos (fotocopiadoras, computadores, projetores, entre outros) elevadores, ventiladores e bombas de circulação. É de salientar que a climatização representa mais de metade do consumo de energia do edifício, onde o aquecimento pesa 44 % neste consumo e o arrefecimento apenas 8 %. Isto deve-se sobretudo ao facto de no edifício existirem espaços que apenas apresentam possibilidade de aquecimento, não tendo possibilidade de arrefecimento.

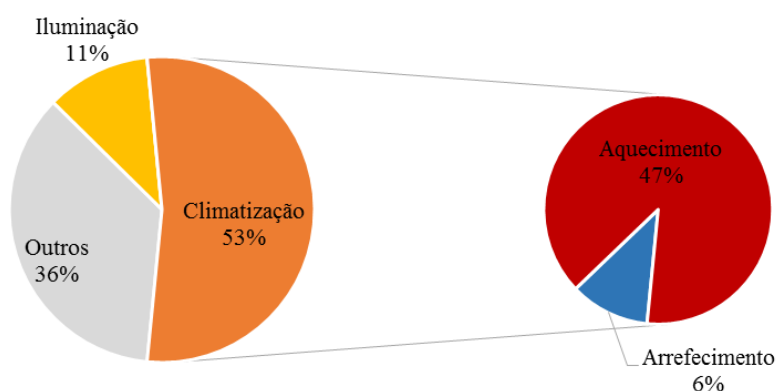


Figura 6.18 – Desagregação de consumo energético obtidos a partir da simulação dinâmica.

Na Figura 6.19 podemos observar as necessidades de aquecimento e arrefecimento para o edifício. Em edifício de serviços, como o do caso em estudo, era espectável que a carga de arrefecimento fosse superior à apresentada, mas tal pode dever-se ao facto de como dito anteriormente, existirem vários espaços no Edifício II que não permitem arrefecimento, enquanto que todos os espaços climatizados têm a possibilidade de aquecimento. Na totalidade este edifício apresenta uma carga de aquecimento de 1 129 MWh e de 201 MWh de arrefecimento.

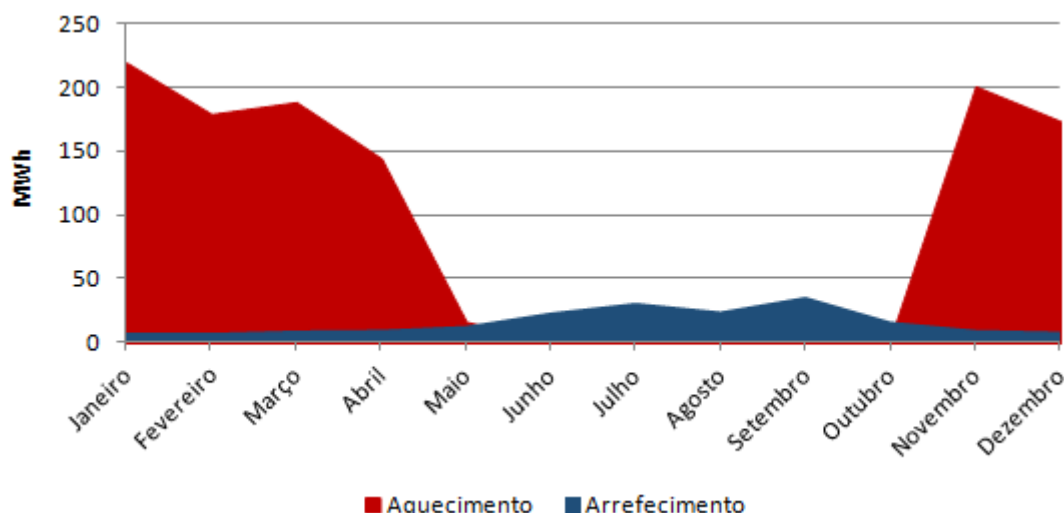


Figura 6.19 – Necessidades de climatização resultantes da simulação, para o Edifício II.

A partir dos consumos globais simulados é possível calcular qual o valor do IEE para o Edifício II, tomando o valor de $207 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$.

6.3 Simulação com as soluções de referência

Nesta secção será descrita toda a metodologia utilizada na simulação do edifício de referência tomando em consideração todas as soluções de referência para o cálculo do IEE_{ref} impostas pelo RECS, sendo que as restantes características e soluções do edifício mantêm-se inalteradas, relativamente às consideradas para o cálculo do IEE_{pr} .

A definição deste edifício de referência, pretende facultar a comparação entre o consumo energético anual de um edifício de serviços com os consumos anuais de energia do Edifício II, caso este fosse dotado de soluções de referência. Permite então, a análise do desempenho energético de um edifício comparativamente a valores de eficiência considerados “padrão” para esse tipo de edifício.

6.3.1 Soluções de referência

As soluções de referência a considerar para a simulação abrangem vários tipos de soluções, como por exemplo: soluções de envoltente, de sistemas de climatização, de iluminação, entre outros. Para cada tipo de solução será descrito quais as soluções de referências que são necessárias considerar para a simulação do edifício de referência, nesta auditoria energética.

○ Envoltente

- São considerados os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência representados na Tabela 6.13, em que estes são obtidos através de cálculos auxiliares em que a espessura do isolamento térmico da solução construtiva é alterada de modo a atingir os valores presentes na Tabela 6.13, para cada tipo de solução construtiva.

Caso o edifício não possua isolamento térmico nas suas soluções construtivas, segundo o RECS, a solução de referência terá de considerar esse isolamento, mantendo sempre a inércia do edifício.

Tabela 6.13 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência (RECS).

	$U_{ref} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]^3$
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	0.7
Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores	0.5
Vãos envidraçados exteriores	4.3

- b) Considerar que a área de vãos envidraçados é igual a 30 % da área de fachadas e em casos, em que a área de vãos envidraçados é inferior a este valor, a solução de referência pode considerar esse mesmo valor.
- c) O coeficiente de absorção da radiação solar da envolvente opaca tem de ser 0.4.

- **Sistema de climatização**

- a) Nas situações em que o aquecimento seja assegurado por uma bomba de calor, na solução de referência é obrigatório considerar que esta recorre a uma bomba de calor do tipo *chiller* de compressão com permuta exterior a ar com o valor de eficiência de aquecimento 2.8 (Tabela I.17 do RECS), caso se trate de arrefecimento é obrigatório considerar que este é realizado também, através de um *chiller* de compressão com permuta exterior a ar com uma eficiência de arrefecimento de 2.7 (Tabela I.17 do RECS).
- b) Caso o aquecimento seja realizado recorrendo a uma caldeira (é o caso do Edifício II) é necessário considerar que a caldeira possui uma eficiência de 83 % (Tabela I.19 do RECS).
- c) Considerar que a temperatura interior dos espaços está compreendida entre 20 e 25 °C, inclusive.

- **Ventilação**

- a) Os valores de caudal de ar novo por espaço devem ser determinados recorrendo ao método prescritivo já referenciado e considerando um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0.8.

³ Valores considerando a zona corrente da envolvente II, para Portugal Continental.

○ **Iluminação**

- a) Considerar a densidade de potência de iluminação definido na Tabela I.28 do RECS (Anexo) para cada tipo de espaço.
- b) Não considerar sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural.

Na Tabela 6.14 são apresentados os valores de densidade de potência de iluminação para cada tipo de espaço inseridos na simulação de referência. Estes foram calculados através dos valores de iluminância média considerados na norma EN 12464-1 para cada tipo de espaço interior e pelos valores de $DPI/100lux$, obtidos segundo a expressão (6):

$$\frac{DPI}{100lux} = \frac{DPI}{E_m} \cdot 100 \quad (6)$$

onde E_m representa a iluminância média em lux e DPI é a densidade de potência de iluminação.

Tabela 6.14 – Valores de densidade de potência de iluminação considerados na simulação de referência.

	Iluminância média [lux]	DPI/100lux	DPI [W/m²]
Arquivo	100	4	4
Auditório	450	2.8	12.6
Biblioteca	500	2.8	14
Centro de Dados	100	4	4
Circulação	100	4.5	4.5
Escadas	100	4.5	4.5
Gabinete	400	2.8	11.2
Inst. Sanitárias	100	4.5	4.5
Lab. Inf.	300	2.8	8.4
Lab. Invest.	400	2.8	11.2
Receção	100	4.5	4.5
Restauração	200	4	8
Sala Aula	450	2.8	12.6
Sala de Conferências	450	2.8	12.6
Sala de Estudo	400	2.8	11.2
Sala Refeições	200	4	8
Sala Reuniões	400	2.8	11.2
Sala Seguranças	100	4	4
Salas Arquitetura	650	2.8	18.2
Zona técnica	100	4	4

Para os valores de caudais considerados na simulação das soluções de referência consideraram-se os valores da Tabela 6.15, onde estão apenas representados dois pisos do corpo D a título de exemplo,

uma vez que o Edifício II é composto por mais de 139 zonas térmicas, o que impossibilita a apresentação dos caudais de ar novo considerados para todas as zonas térmicas.

Na Tabela 6.15 estão representados os valores de caudais considerados na solução real do edifício (Caudal Previsto) e os caudais de ar novo para a solução de referência (Caudal Referência) considerando 0.8 de eficiência de ventilação, calculados a partir do métodos prescritivo já descrito.

Tabela 6.15 – Caudais de ar novo considerados na simulação do real e da solução de referência, consoante o tipo de cargas de poluentes.

	Caudal Previsto [m ³ /h]	Caudal Referência [m ³ /h]
D1 Norte	1.74	2.18
D1 Sul	1.67	2.09
D1 WC1	0.01	0.01
D1 WC2	0.01	0.01
D1 Circulação	0.18	0.22
D2 Norte	0.27	0.34
D2.06 a 14	0.05	0.07
D2.18 a 24	0.05	0.07
D2.02 a 6 Sul	0.07	0.08
D2.26 a 30	0.07	0.08
D2.16	0.01	0.02
D2 WC1	0.01	0.01
D2 WC2	0.01	0.01
D2 Circul	0.20	0.25

6.4 Resultados da simulação dinâmica

Como já explicado nas sessões anteriores, a simulação dinâmica é realizada para o edifício real com as condições impostas pelo RECS para a determinação do IEE_{pr} e para o edifício com as soluções de referência que o RECS impõe para a determinação do IEE_{ref}.

Na Figura 6.20 está representado a desagregação do consumo energético resultante da simulação do edifício em condições reais com os requisitos necessários para a determinação do IEE_{pr} e em condições de referência, onde é possível observar que quase não existe diferenças entre as percentagens de cada uma delas. Isto pode ser explicado pelo facto dos sistemas técnicos considerados na referência serem maioritariamente de classe energética C, e os existentes no Edifício II também serem classificados como classe energética C.

Em ambas, a parcela “Outros”, que representa o consumo de equipamentos elétricos, elevadores e bombas de circulação, tem um peso de aproximadamente 40% do consumo total de energia do edifício, seguida da climatização com 26 % e da iluminação apresentando 22 %.

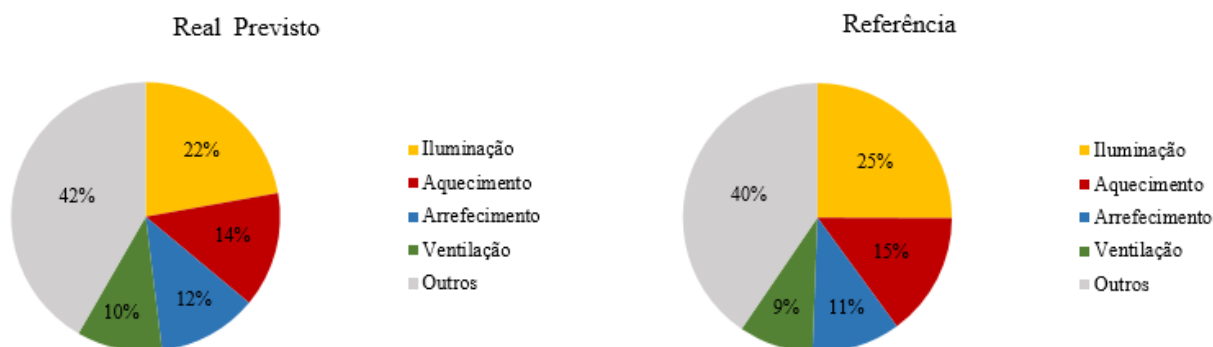


Figura 6.20 – Desagregação de consumo energético para a simulação do edifício real e para a simulação de referência.

Na Tabela 6.16 são apresentados os resultados dos consumos de energia por tipo de utilização e as componentes do IEE para a simulação do edifício em condições reais de funcionamento e em condições de referência. Como já explicado anteriormente, tanto os consumos de energia como o IEE apresentam valores próximos nas duas simulações, pelas mesmas razões já apresentadas na análise da Figura 6.20. É possível observar que o consumo para a parcela “Outros” é igual nas duas simulações, uma vez que as cargas internas que dão origem a este consumo (equipamentos elétricos, elevadores e bombas de circulação) não variam da simulação do previsto para a simulação de referência e pela mesma razão o IEE_T apresenta o mesmo valor nas duas simulações.

Relativamente aos consumos de iluminação e climatização estes apresentam uma ligeira subida na simulação de referência uma vez que as cargas internas consideradas nas duas simulações são diferentes, já que na simulação de referência, de modo a cumprir os requisitos impostos pela legislação estas cargas internas são ligeiramente elevadas. Já no caso da climatização, os caudais de ar novo inseridos nos espaços, na simulação de referência, são superiores aos reais aumentando deste modo ligeiramente os consumos neste campo para a solução de referência.

Tabela 6.16 – Consumo energético por tipo de utilização e componentes do IEE resultantes das simulações dinâmicas.

REAL		REFERÊNCIA	
Iluminação [kWh/m ²]	18	Iluminação [kWh/m ²]	21
Aquecimento [kWh/m ²]	29	Aquecimento [kWh/m ²]	32
Arrefecimento [kWh/m ²]	10	Arrefecimento [kWh/m ²]	9
Ventilação [kWh/m ²]	9	Ventilação [kWh/m ²]	8
Outros [kWh/m ²]	34	Outros [kWh/m ²]	34
$IEE_{pr,S}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	120	$IEE_{pr,S}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	127
$IEE_{pr,T}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	86	$IEE_{pr,T}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	86
IEE [kWh _{EP} /m ² .ano]	206	IEE [kWh _{EP} /m ² .ano]	213

Após toda esta análise de resultados das duas simulações foi possível calcular a classe energética do Edifício II que é determinada através do rácio de classe energética (R_{IEE}) dada pela expressão (3)

apresentada na Secção 2.3. Obteve-se um R_{IEE} de 0.95 para o edifício, o que corresponde segundo a Tabela 2.2 a uma classe energética B⁻.

Deste modo, o Edifício II não está sujeito a qualquer tipo de Plano de Racionalização Energética (PRE) pois o limiar de classe energética para a determinação da necessidade de PRE, na presente data, é a classe energética D. O PRE é um plano que visa com um conjunto de medidas de racionalização da energia reduzir o consumo ou custos de energia, elaborado e analisado com base na sua viabilidade económica e exequibilidade. As medidas que constem no PRE que apresentem um período de retorno simples inferior a oito anos, são de execução obrigatória num prazo máximo de três anos após a data de emissão do certificado energético (RECS, 2013).

6.5 Resultados da simulação com otimização energética

No CE é obrigatório apresentar medidas de eficiência energética que visem melhorar a *performance* de consumo energético do edifício. Para o Edifício II, apenas foram propostas medidas de eficiência energética no âmbito da iluminação interior, uma vez que os equipamentos de climatização encontram-se em boas condições e não são equipamentos obsoletos. As principais medidas de eficiência energética aplicadas ao edifício em estudo são descritas detalhadamente no Capítulo 7, onde é realizado um estudo exaustivo da aplicação das mesmas. Estas incidem sobre a iluminação existente no Edifício II e na procura de soluções mais eficientes que permitam diminuir o consumo de energia referente a este sector, melhorando ou pelo menos mantendo o conforto dos ocupantes do espaço.

Deste modo, nesta Secção apenas serão apresentados os resultados da aplicação das Medidas de Racionalização de Consumo de Energia (MRCE) aplicadas no edifício em estudo, no âmbito da iluminação interior existente.

As MRCE propostas para o Edifício II são as seguintes:

- a) Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e respetivas luminárias por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 com luminárias adequadas em espaços como, salas de aulas/reuniões/estudo, laboratórios de informática e gabinetes;
- b) Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 com luminárias adequadas, em espaços de circulação;
- c) Substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio e halogéneo por lâmpadas fluorescentes compactas;
- d) Substituição de lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas fluorescentes compactas mais eficientes.

Segundo a Tabela 6.17, a aplicação das MRCE apenas tem um impacto significativo no consumo de energia no sector da iluminação. É notória a diminuição do consumo energético neste sector, por área de edifício antes e após as MRCE, cuja diminuição é de aproximadamente 7 kWh/m². O $IEE_{pr,s}$ passa de 120 kWh_{EP}/ m².ano para 99 kWh_{EP}/ m².ano após a aplicação das MRCE. Deste modo, o sector de iluminação representa apenas 15 % do consumo final de energia, face a 22 % antes da aplicação das medidas na simulação do previsto e a 25 % na simulação de referência (Figura 6.20).

A implementação destas medidas permitem diminuir o R_{IEE} de 0.95 para 0.78, embora não permita alterar a classificação energética do edifício uma vez, que pela observação da Tabela 2.2, a classe energética se mantém na classe B⁻. Ainda assim, estas medidas têm uma grande importância pois promovem um consumo energético eficiente e sustentável, recorrendo a tecnologias inovadoras e de baixo consumo energético e promovendo o desenvolvimento sustentável no sector dos edifícios.

Tabela 6.17 - Consumo energético por tipo de utilização e componentes do IEE resultantes das simulações dinâmicas do Real, Real com MRCE e Referência.

	REAL	REAL (após MRCE)	REFERÊNCIA
Iluminação [kWh/m ²]	18	11	21
Aquecimento [kWh/m ²]	29	29	32
Arrefecimento [kWh/m ²]	10	10	9
Ventilação [kWh/m ²]	9	7	8
Outros [kWh/m ²]	34	34	34
IEE _{pr,S} [kWh _{EP} /m ² .ano]	120	99	127
IEE _{pr,T} [kWh _{EP} /m ² .ano]	86	86	86
IEE [kWh _{EP} /m ² .ano]	206	185	213
R_{IEE}	0.95	0.78	

7. Medidas de eficiência energética de iluminação interior

Nesta Secção serão descritas as medidas de racionalização do consumo energético a nível de iluminação interior, não apenas para o Edifício II, mas de todo o *Campus ISCTE – IUL*. Para poder analisar quais as medidas a aplicar, foi necessário um estudo exaustivo das soluções de iluminação existentes em todo o *Campus*.

Deste modo, neste Capítulo é apresentada uma descrição das tecnologias instaladas na instituição de ensino, seguida da apresentação dos resultados obtidos para a aplicação de medidas de racionalização energética estudadas e aplicadas a neste sector, para os diferentes edifícios que integram o *Campus*.

Para o edifício do INDEG, não foram estudadas quaisquer remodelações em termos de iluminação nem realizados testes de iluminância, uma vez que o edifício sofreu alterações no sistema de iluminação recentemente. É descrita resumidamente na Secção 7.1 quais as tecnologias existentes no edifício.

7.1 Tecnologias de iluminação existentes

As tecnologias instaladas no *Campus ISCTE – IUL* e as respetivas potências instaladas estão presentes na Tabela 7.1, onde se constata que a tecnologia com maior potência instalada é a tecnologia fluorescente tubular T8 com casquilho G13 com 241 kW de potência instalada, representando aproximadamente 69 % da potência instalada no *Campus*. Tecnologias como a as lâmpadas incandescente e iodetos metálicos são já tecnologias obsoletas mas existem apenas num valor ínfimo representando 0.2 % da potência instalada total e apenas existem no Edifício II.

Tabela 7.1 – Potência instalada por tipo de tecnologia de lâmpadas, no *Campus*.

	Edifício I [kW]	Edifício II [kW]	Ala Autónoma [kW]	Total [kW]
FT T8 (G13)	112	98	31	241
Halógeno	1	35	25	61
Fluo. Compactas	6	12	2	20
FT T5 (G5)	15	4	1	20
Vapor Mercúrio	-	7	-	7
Incandescente	-	1	-	1
Iodetos metálicos	-	1	-	1
				351

A tecnologia fluorescente tubular do tipo T8 está essencialmente presente nas zonas de circulação, gabinetes, salas de aula e auditórios. As instalações sanitárias têm um sistema de iluminação diverso com lâmpadas fluorescentes compactas, tubulares e halógenos. Na sua maioria, as luminárias são equipadas com balastros ferromagnéticos, o que aumenta o consumo das lâmpadas até 25 %, além de que diminui o seu tempo de vida, equiparando com o balastro eletrónico que é mais eficiente.

As lâmpadas de halógeno estão presentes em grandes espaços como os auditórios, as bibliotecas e alguns corredores, podendo ainda ser divididas em dois grupos:

- Baixa potência (50 W), que representam cerca de 65 % do total de halógenos existentes

- Alta potência (150 W/200 W), que representam os restantes 34 %.

O edifício do INDEG sofreu uma renovação profunda no sistema de iluminação existente no edifício no ano letivo 2013/2014 e por este motivo não é objeto de estudo desta análise de medidas de racionalização energética ao nível da iluminação. Não foram realizados, como dito anteriormente, nenhum teste de iluminância a espaços do edifício nem serão apresentadas medidas de eficiência energética para o mesmo. Este apresenta como tecnologia dominante, a fluorescente tubular T5 e T8, existindo ainda halógeno de 50 W e fluorescentes compactas, principalmente em espaços de circulação. As salas de aula, auditórios e gabinetes apresentam soluções T5 cuja sua potência varia entre 14 e 58 W, dependendo da respetiva zona. A zona de restauração e de bar são servidas por tecnologia LED, T5 e fluorescente compacta com diferentes potências. Por sua vez, as zonas técnicas apresentam lâmpadas T8 de 36 W.

7.2 Estimativa do consumo de iluminação

Os consumos de iluminação foram estimados tendo em conta a potência instalada em cada espaço, incluindo balastros, e os perfis de utilização já descritos na Secção 6.2.7. O levantamento da potência instalada nos diferentes espaços foi realizado com diversas visitas ao local e comparado com o projeto de iluminação facultado pela instituição de ensino. Os fatores de utilização do sistema de iluminação foram considerados tendo em conta o número de lâmpadas em operação, durante o período auditado.

Na Figura 7.1 está representada a distribuição de consumos de energia por tecnologia de lâmpadas para os três edifícios do *Campus*. Podemos constatar que as lâmpadas que apresentam maior consumo de energia são as fluorescentes tubulares T8 e as lâmpadas de halógeno, o que era espetável para a tecnologia FT T8 uma vez que é a tecnologia com maior potência instalada (Tabela 7.1) mas para a tecnologia halógeno este cenário não seria o esperado, uma vez que apenas representam 17% da potência instalada no *Campus*. Estas apresentam este consumo uma vez que é uma tecnologia que consome mais energia comparativamente às tecnologias FT T5 e fluorescentes compactas. Assim, a substituição deste tipo de tecnologia é uma medida de eficiência energética que permitirá uma poupança de energia significativa.

A parcela “Outros” representa as lâmpadas incandescentes e de iodetos metálicos existentes (apenas no Edifício II).

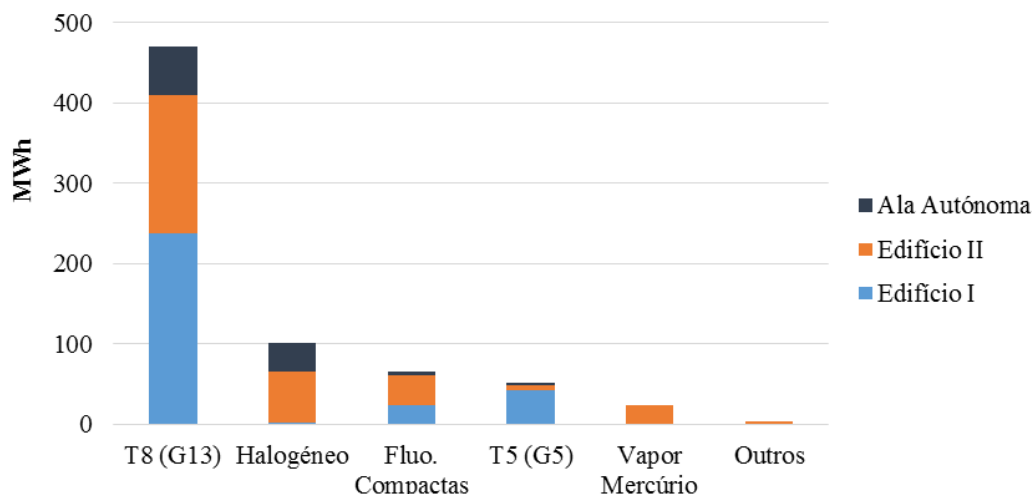


Figura 7.1 – Consumo de energia na iluminação, por tecnologia de lâmpada.

Será analisada ao detalhe a iluminação existente em cada edifício do *Campus ISCTE - IUL*, individualmente. Na Figura 7.2 está representada a distribuição dos consumos de energia por tipologia de lâmpadas para cada edifício.

▪ Edifício I

A tecnologia dominante no Edifício I são as lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T8, seguidas das fluorescentes tubulares T5, sendo que estas últimas estão presentes no piso 1 e 2 da ala W (ala Oeste) devido a uma recente renovação destes espaços. A presença de lâmpadas de halogéneo no Edifício I é residual. Por observação da Figura 7.2 podemos verificar que o consumo de energia no sector da iluminação do Edifício I deve-se principalmente às lâmpadas FT T8, presentes nas salas de aula, na maioria dos gabinetes e circulações. Sendo vantajosa a substituição das mesmas por lâmpadas FT T5, que permite uma poupança significativa na fatura de eletricidade.

▪ Edifício II

No Edifício II a tecnologia que apresenta maior consumo de energia é a FT T8 (como no Edifício I) seguida da tecnologia de halogéneo com cerca de 21% do consumo de energia. Em termos de quantidade as lâmpadas de halogéneo apenas estão presentes em 10% do edifício e as fluorescentes compactas em 20%, tendência que não é acompanhada pelo consumo de energia como podemos observar na Figura 7.2, cujo seu consumo apenas representa 12% do consumo total de energia para a iluminação. Isto deve-se sobretudo ao facto de a eficiência luminosa (lm/W) das lâmpadas de halogéneo ser muito baixa que implica um aumento de consumo comparativamente à eficiência luminosa das fluorescentes compactas. Assim, a substituição desta tecnologia, como já referido na Secção 6.1.7 é uma medida de eficiência energética com um forte potencial de poupança energética.

A substituição da tecnologia de vapor de mercúrio é também uma medida com forte potencial, uma vez que esta tecnologia é já obsoleta e que atualmente existem outras soluções no mercado mais eficientes e que permitem uma poupança no consumo de energia.

▪ Ala Autónoma

Para a Ala autónoma o caso é muito semelhante ao Edifício II, embora não apresente algumas das variedades de lâmpadas que este apresenta. Mais uma vez, mais de metade do consumo de energia deve-se às fluorescentes tubulares T8, como nos restantes edifícios, seguida da tecnologia de halogéneo. No caso deste edifício, as lâmpadas de halogéneo e as lâmpadas fluorescentes compactas apresentam, ambas aproximadamente, 20% da quantidade total de lâmpadas existentes no edifício. Deste modo a discrepância nos consumos apresentados na Figura 7.2 reforçam o que já foi referido para o Edifício II do porque disto acontecer. As fluorescentes compactas devido à sua alta eficiência, apenas representam 5 % do consumo total de energia em iluminação apesar de existirem em número semelhante às lâmpadas de halogéneo.

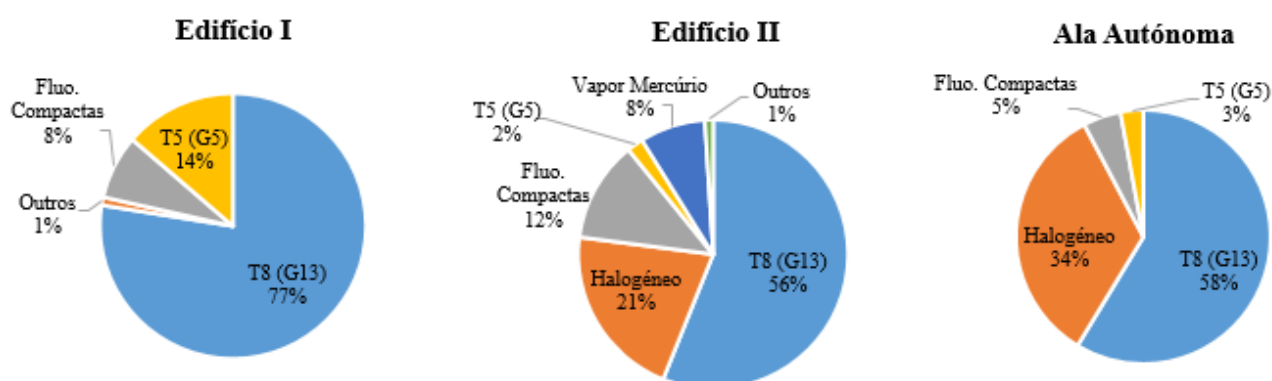


Figura 7.2 – Distribuição do consumo de energia por tipo de lâmpada, para cada edifício do *Campus ISCTE – IUL*.

7.3 Potencial de poupança Energética

No sector da iluminação, a poupança energética é conseguida principalmente através da substituição de tecnologia já obsoleta, por tecnologias mais recentes e eficientes existentes, atualmente no mercado.

A escolha da iluminação adequada a um certo espaço não é um processo intuitivo, é necessário ter em consideração os seguintes aspetos: a lâmpada que melhor se adequa em função do espaço e do tipo de atividade exercida nesse espaço, a luminária que permite um fluxo luminoso adequado ao espaço e o tipo de atividade exercida bem como o seu posicionamento correto (ADENE, 2010).

A eficácia luminosa de uma lâmpada define a quantidade de luz emitida por unidade de potência elétrica (W) consumida. Mede-se em “*lumens por watt*” e permite comparar a eficiência de diferentes fontes luminosas. A eficácia luminosa das lâmpadas incandescentes situa-se entre os 12 lm/W e os 20 lm/W, sendo que, para as lâmpadas fluorescentes, a eficácia situa-se entre os 40 lm/W e os 100 lm/W (ADENE, 2012).

Para avaliar o potencial de poupança energética na iluminação do *Campus ISCTE – IUL* foram consideradas medidas de melhoria de eficiência energética consoante o tipo de tecnologia a substituir e a tipologia de espaços. As soluções encontradas para cada caso referem-se a modelos apresentados em catálogos de lâmpadas e luminárias utilizados no sector atualmente (CLIMAR, 2013) (OSRAM, 2013)

(Phillips, 2014) (EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico, 2011). Toda a análise realizada para determinar qual a melhor solução de substituição para cada espaço, teve em conta os níveis de iluminância recomendados na norma EN 12464 – 1, para a tipologia dos espaços bem como os níveis de densidade de potência regulamentados pelo RECS.

As MRCE propostas para os três edifícios foram:

1. Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e respetivas luminárias por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 com luminárias adequadas em espaços como, salas de aulas/reuniões/estudo, laboratórios de informática e gabinetes;
2. Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 com luminárias adequadas, em espaços de circulação;
3. Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por lâmpadas LED tubular em salas de aulas/reuniões/estudo, laboratórios de informática e gabinetes;
4. Substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 por lâmpadas LED tubular, em espaços de circulação;
5. Substituição das lâmpadas de halogéneo por lâmpadas LED com o mesmo casquilho, mantendo a mesma luminária.
6. Substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio e halogéneo por lâmpadas fluorescentes compactas;
7. Substituição de lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas fluorescentes compactas mais eficientes.

A substituição das tecnologias existentes pelas soluções encontradas no mercado foram realizadas tendo como *baselines* os seguintes critérios:

- i. Encontrar soluções mais eficientes que apresentassem o mesmo tipo de casquilho que a tecnologia existente, de maneira a não ser necessário a substituição da luminária;
- ii. Quando não era possível encontrar soluções que apresentassem o mesmo casquilho da lâmpada existente, todo o sistema de iluminação seria substituído (lâmpadas e luminárias).
- iii. Tentou-se sempre que a solução de substituição fosse a mais económica existente no mercado atualmente, logo algumas tecnologias foram escolhidas em detrimento de outra.

Tendo em conta todos os pressupostos descritos, foi possível realizar a análise económica da substituição do sistema de iluminação para cada edifício. Esta análise foi realizada para cada uma das MRCE, analisadas com um período de 10 anos (valor parametrizado considerando o tempo de vida do equipamento e a durabilidade do sistema lâmpada e luminária) e uma taxa de juro de 4 % ao ano. Esta análise tomou também em consideração, o custo de manutenção das lâmpadas existentes e das lâmpadas a instalar com a aplicação das MRCE descritas.

As sete MRCE apresentadas foram aplicadas aos três edifícios considerando sempre o sistema de iluminação existente, dependendo do resultado da análise económica efetuada, a medida seria aplicável ou não, isto é, a aplicação da MRCE 1 pode ser lucrativa no caso do Edifício I mas não o ser

para o caso da Ala Autónoma. Assim, cada medida foi aplicada aos edifícios consoante a sua viabilidade económica.

Mais uma vez a análise económica das MRCE serão descritas individualmente e de forma detalhada para cada edifício do *Campus*.

▪ Edifício I

Para o Edifício I apenas foram aplicadas as medidas MRCE 1, 2 e 5 com uma estimativa de poupança energética de 143 MWh/ano. É possível observar na Figura 7.3, o potencial de poupança para cada MRCE aplicada. O facto de a tecnologia FT T8 ser a tecnologia dominante, a maior poupança resulta da substituição destas por lâmpadas fluorescente tubular T5 (MRCE 1 e MRCE 2). A aplicação da MRCE 5 elimina por completo a tecnologia de halogéneo no Edifício I, passando estes espaços a ser assegurados pela tecnologia LED e o consumo da mesma passa de 0.23 MWh/ano para cerca de 0.43 MWh/ano.

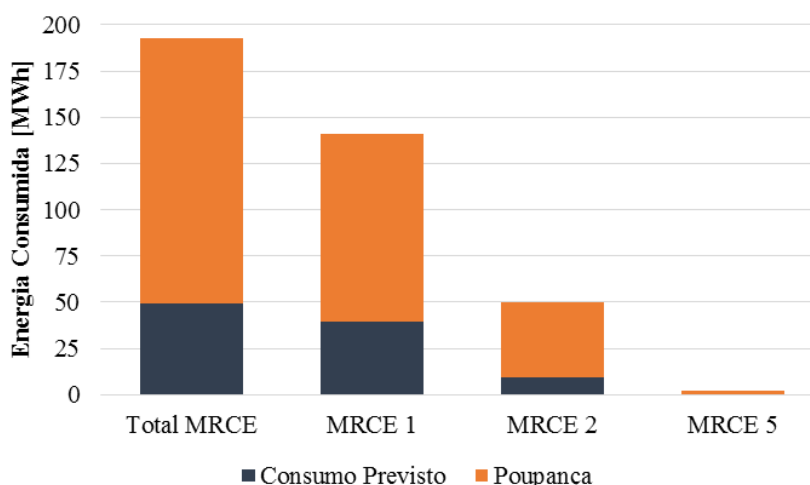


Figura 7.3 – Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para o Edifício I.

Relativamente à análise financeira, esta é apresentada na Figura 7.4 onde podemos observar o investimento de cada MRCE, bem como a poupança média por ano em euros e o lucro calculado a 10 anos. Podemos constatar que a MRCE 1 apresenta um grande investimento, mas em compensação tem um lucro de aproximadamente 80 000 €, com um retorno do investimento de 6 anos. Em contra partida a MRCE 2 tem o investimento financeiro mais baixo das três medidas, mas apresenta um lucro de quase 55 000 € com um retorno do investimento de 2 anos apenas. A medida MRCE 5 apresenta um investimento superior ao lucro obtido a 10 anos, mas como referido anteriormente, permite irradiar por completo a tecnologia halogéneo do edifício, tendo ainda uma poupança média anual de 220 € com um retorno do investimento ao fim de 4 anos.

O cálculo do retorno do investimento foi efetuado considerando a poupança anual em cada ano bem como os custos de manutenção do sistema de iluminação atuais e futuros (após a aplicação das MRCE) e não a poupança média anual apresentada na Figura 7.4. Isto é válido para todos os edifícios, não apenas para o Edifício I.

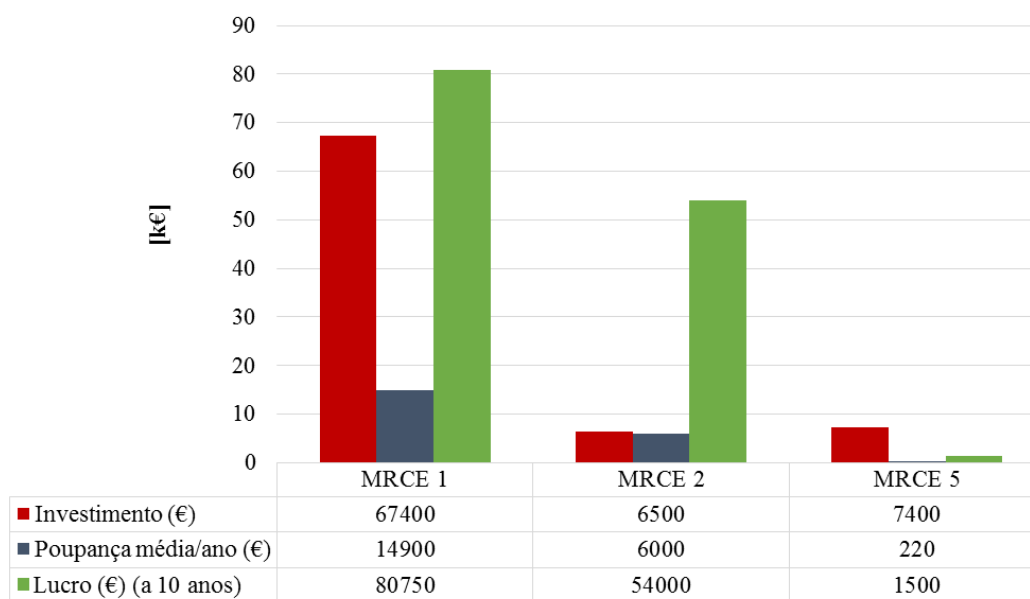


Figura 7.4 – Análise económica para cada MRCE aplicada ao Edifício I.

▪ Edifício II

Foram aplicadas praticamente todas as MRCE descritas, com exceção das MRCE 4 e 5, pois não apresentava uma poupança energética superior à MRCE 1 e uma vez que a tecnologia LED disponível não apresentava fluxo luminoso suficiente para os espaços em questão, cumprirem os requisitos legais de iluminância e a MRCE 3 pois não apresentava viabilidade económica. Deste modo, segundo o estudo efetuado, a substituição das tecnologias de iluminação recairá sobre tecnologia fluorescente tubular T8, fluorescente compacta, vapor de mercúrio e halogéneo.

A implementação da MRCE 2 permite uma poupança de 24 MWh/ano, como se observa na Figura 7.5 onde está representado o consumo de energia após a aplicação das MRCE para o Edifício II. Esta apenas foi aplicada em gabinetes e centro de dados sempre que a iluminação existente não cumpria os requisitos legais estabelecidos, pelo facto de serem estes os espaços que apresentavam maior poupança energética face a outras soluções propostas.

De modo a uniformizar as lâmpadas existentes no Edifício II, quando aplicada a MRCE 6, sempre que não foi possível substituir apenas a lâmpada mantendo a luminária, optou-se por lâmpadas fluorescentes compactas com casquilho E27. Uma vez que as lâmpadas E27 são as mais comercializadas e apresentam preços mais competitivos comparativamente a tecnologias equivalentes. Com a implementação desta medida deixa de existir, lâmpadas de vapor de mercúrio, gerando uma poupança de 90 MWh/ano. Assim, o Edifício II consegue uma poupança global de 181 MWh/ano, com a aplicação das medidas apresentadas.

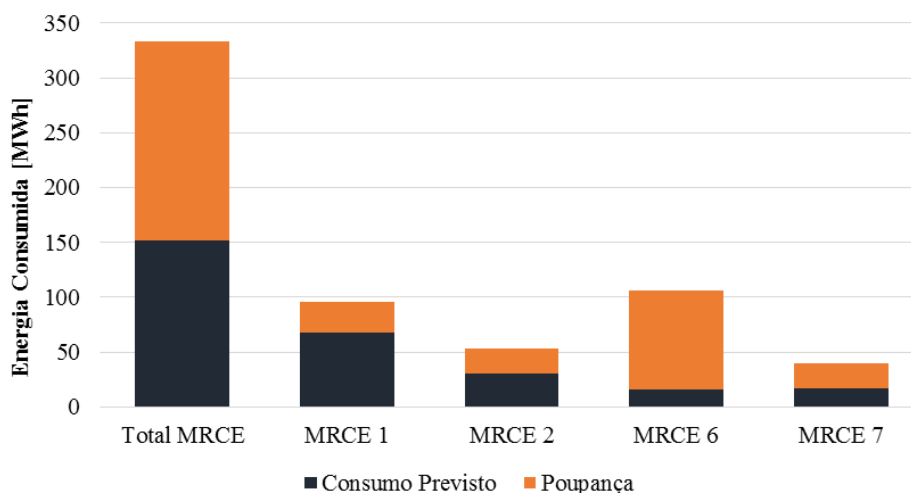


Figura 7.5 - Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para o Edifício II.

Segundo a análise económica realizada a estas MRCE, é possível observar os resultados na Figura 7.6. É notório o lucro da MRCE 6, de quase 100 000 € comparativamente ao seu investimento de cerca de 10 000 €, com uma poupança anual de 11 000 €. Tal já seria de esperar uma vez que as tecnologias substituídas (vapor de mercúrio e halogéneo) representavam uma parte do consumo de energia, no sector da iluminação, bastante significativo (cerca de 30% do consumo total). Esta medida apresenta então um retorno de investimento ao fim de 2 anos. A medida MRCE 7, de início, pareceu ter alguma redundância, uma vez que a substituição de fluorescentes compactas já é uma tecnologia eficiente, mas ao contrário do que se esperava, apenas com um investimento de 13 000 € obtém-se um lucro a 10 anos de quase 20 000 €, com o retorno do investimento a 5 anos. As MRCE 1 e 2 apresentam investimentos relativamente baixos e permitem uma redução significativa nos consumos de energia. Estas apresentam um retorno do investimento de 7 e 3 anos, respetivamente, em que a MRCE 2 por se tratar da substituição em espaços de circulação, consegue um lucro a 10 anos superior à MRCE 1, devido aos perfis de utilização desta tipologia de espaços.

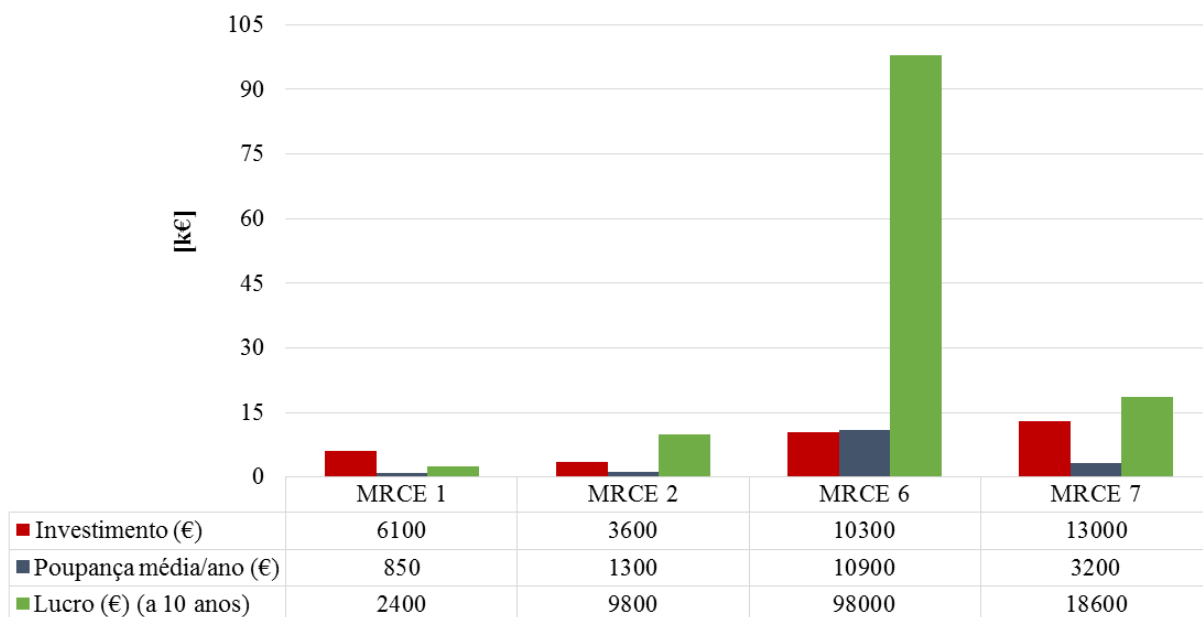


Figura 7.6 - Análise económica para cada MRCE aplicada ao Edifício II.

▪ Ala Autónoma

Na Ala Autónoma foram aplicadas as MRCE 2, 5 e 6 que representa a substituição das tecnologias de iluminação fluorescente tubular T8 por fluorescente tubular T5 e lâmpadas de halógeno por tecnologias LED ou fluorescentes compactas. Na Figura 7.7 é possível observar que a MRCE 5 é a medida que maior poupança energética acarreta, cerca de 14 MWh/ano uma vez que a tecnologia LED é das mais eficientes existentes no mercado, seguida da MRCE 6 com 9 MWh/ano. Deste modo, consegue-se alcançar uma poupança de energia de, aproximadamente, 34 MWh/ano para este edifício, permitindo diminuir o seu consumo em 65 % do que é atualmente.

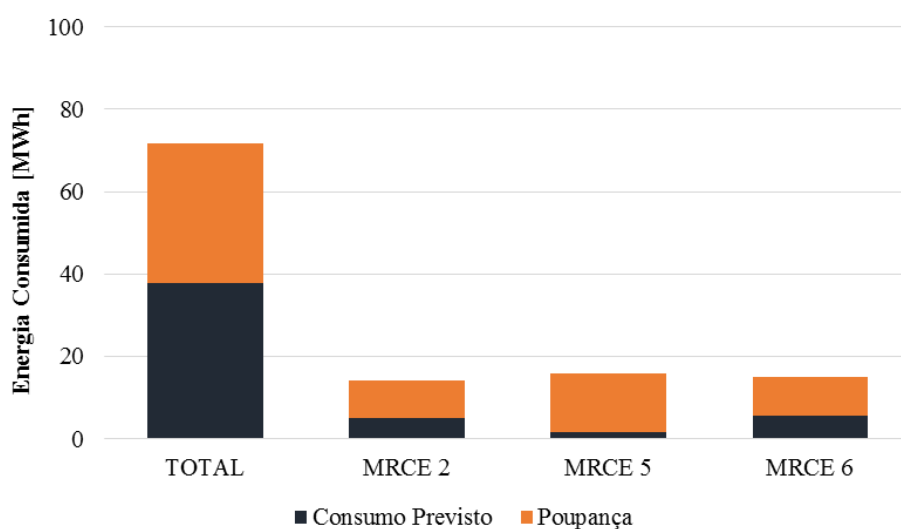


Figura 7.7 - Consumo de energia atual e após a aplicação das MRCE para a Ala Autónoma.

A nível da análise económica realizada para as diferentes medidas aplicáveis à Ala Autónoma, os resultados são apresentados na Figura 7.8, onde é possível constatar que a MRCE 5 é a medida que apresenta maior investimento inicial, cerca de 5 000 € mas a que apresenta maior lucro a 10 anos com mais de 16 000 € de lucro com um retorno do investimento a 2 anos. Isto é explicado pelo facto da tecnologia LED apresentar ainda preços ligeiramente superiores às lâmpadas fluorescentes compactas, mas serem mais eficientes que estas e por isso permitirem uma poupança média anual superior (cerca de 2 000 €). Em contra partida a MRCE 6 tem o valor de investimento mais baixo, mas apresenta o menor lucro de todas as MRCE com, aproximadamente, 2 000 € a 10 anos, apresentando um retorno de investimento a 4 anos. A MRCE 2 permite uma poupança anual de mais de 1 000 € e um lucro de mais de 11 000 €, com um retorno do investimento a 2 anos.

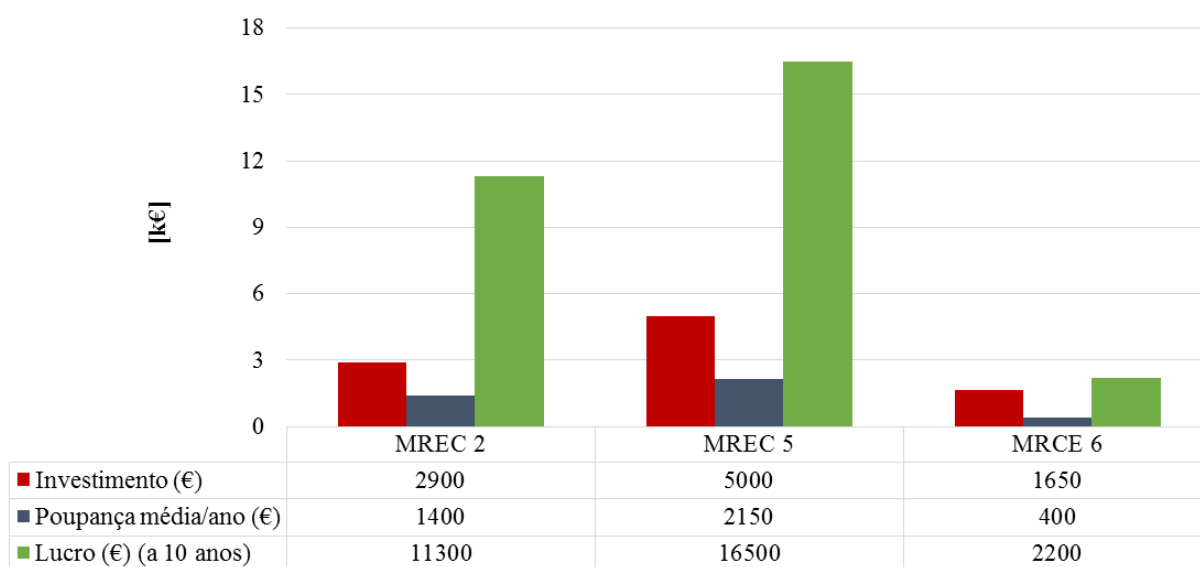


Figura 7.8 - Análise económica para cada MRCE aplicada à Ala Autónoma.

7.4 Qualidade do Sistema de Iluminação

Para aferir a qualidade do sistema de iluminação do *Campus ISCTE – IUL*, foram realizadas medições de iluminância. Nestas medições foi utilizado o luxímetro *Extech 401036* e registaram-se os níveis de iluminância (medidos em lux) em vários pontos de cada espaço. A escolha dos locais onde foram realizados os testes de iluminância, teve em conta os perfis de utilização e o tipo iluminação instalada.

As medições foram realizadas no plano de trabalho, colocando o aparelho a cerca de 0.8 m do pavimento e, sempre que possível, sem iluminação natural. Em espaços como corredores e escadas colocou-se o aparelho ao nível do pavimento. O valor obtido foi comparado com os valores da norma europeia EN 12464-1.

Para além da iluminância, foi utilizado o parâmetro de densidade de potência de iluminação (DPI) para medir a eficiência da iluminação, já descrito acima e dado pela expressão (6). Com este parâmetro é possível avaliar a eficiência da iluminação, visto que se obteve a densidade de potência (W/m^2) necessária para garantir uma iluminância de 100 lux, assim, quanto menor o seu valor, mais eficiente é o sistema de iluminação. Este é o indicador estabelecido na legislação portuguesa, portaria 349-

D/2013 (RECS) do sistema de certificação energética (SCE - Decreto de Lei 118-2013 (118/2013, 2013)), para definir a eficiência do sistema de iluminação presente num espaço.

Relativamente à qualidade do sistema de iluminação, esta será analisada ao longo do capítulo e para cada edifício do *Campus* de acordo com as categorias seguidamente apresentadas:

- 1) Suficiente e Eficiente, onde o sistema cumpre todos os requisitos,
- 2) Suficiente e Ineficiente, onde apenas a eficiência da iluminação não cumpre os requisitos,
- 3) Insuficiente e Eficiente, onde existe um défice de iluminância relativamente aos valores recomendados mas apresenta uma iluminação eficiente,
- 4) Insuficiente e Ineficiente, onde nenhum requisito é cumprido.

Com a aplicação das MRCE propostas na Secção 7.3 para cada edifício do *Campus ISCTE – IUL* é possível observar as diferenças na qualidade da iluminação dos três edifícios (Edifício I, II e AA), uma vez que o INDEG não sofreu propostas de MRCE pelos motivos já apresentados. Os resultados serão analisados individualmente para cada edifício.

▪ Edifício I

Neste edifício a iluminação caracteriza-se pela ineficiência e não pela insuficiência, revelando que o projeto de iluminação foi bem dimensionado, mas encontra-se ultrapassado exigindo uma renovação com tecnologias mais eficientes. Podemos observar pela Figura 7.9 que grande parte do sistema de iluminação é suficiente mas é iluminado de forma ineficiente, ou seja, o fluxo luminoso não cumpre os requisitos recomendados pela legislação. Após a aplicação das MRCE propostas para o edifício, os espaços que cumprem os requisitos recomendados passam a representar 75 % da área total do edifício, quando anteriormente, esta percentagem era de apenas 17 %. A implementação das mesmas permite ainda radicar por completo os espaços que não cumprem os requisitos legais (espaços insuficientes e ineficientes) tornando o edifício totalmente eficiente, embora ainda com 25 % dos espaços insuficientes, pois a substituição das tecnologias existentes não compensa o investimento necessário.

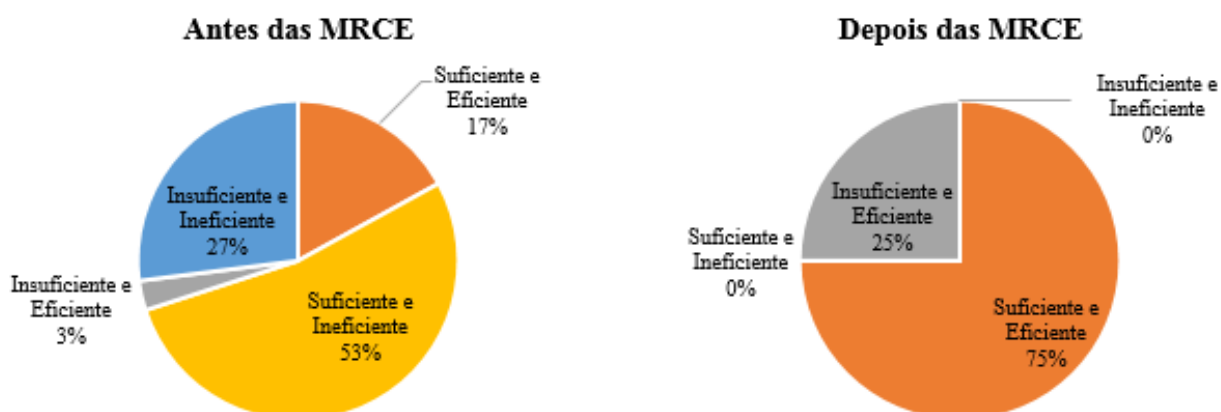


Figura 7.9 – Qualidade de iluminação do Edifício I, antes e após a aplicação das MRCE propostas.

▪ Edifício II

Relativamente à qualidade de iluminação no Edifício II, os resultados são apresentados na Figura 7.10. É visível a grande percentagem de espaços que não cumprem qualquer requisito legal, quase 50 % de área do edifício, enquanto que a percentagem de espaços que cumprem todos os requisitos é de apenas 11 %. O edifício é caracterizado maioritariamente por espaços ineficientes. Deduz-se assim, que é necessária uma intervenção a este nível de forma a tornar o edifício mais eficiente.

A partir das MRCE estudadas para este edifício, é possível reforçar o fluxo luminoso existente em cada espaço bem como a eficiência do sistema de iluminação. Após a aplicação das MRCE é possível aumentar a percentagem de espaços que cumprem todos os requisitos legais para 36 % da área do edifício reduzindo os espaços ineficientes e insuficientes em 15 %, permitindo assim obter 50 % de espaços com iluminação suficiente.

Não foi possível radicar os espaços insuficientes e ineficientes por apresentarem um investimento financeiro muito elevado, do qual não apresentava qualquer lucro num período de 10 anos (período em que a análise financeira foi efetuada).

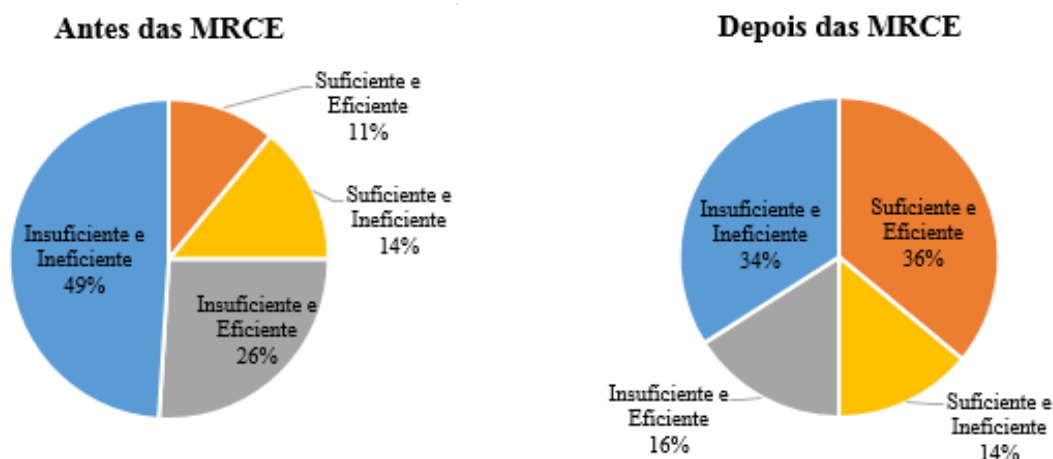


Figura 7.10 - Qualidade de iluminação do Edifício II, antes e após a aplicação das MRCE propostas.

▪ Ala Autónoma

Na Figura 7.11 está representada a qualidade de iluminação para este edifício, onde se verifica que 70 % da área total do mesmo é composta por espaços que não cumprem os requisitos legais aplicados aos sistemas de iluminação. Cerca de 80 % dos espaços apresentam iluminação ineficiente, onde se conclui que é necessária uma mudança no sistema de iluminação existente na Ala Autónoma.

Assim, após a aplicação das MRCE propostas na secção anterior, consegue-se que os espaços que cumprem todos os requisitos legais representem 71 % da área total do edifício que anteriormente apenas representavam 12 %, resultando então, numa percentagem de apenas 14 % de espaços ineficientes (em detrimento de 80 % anteriormente). Conclui-se então que, com a aplicação das MRCE, consegue-se um edifício com quase 90 % de espaços eficientes.

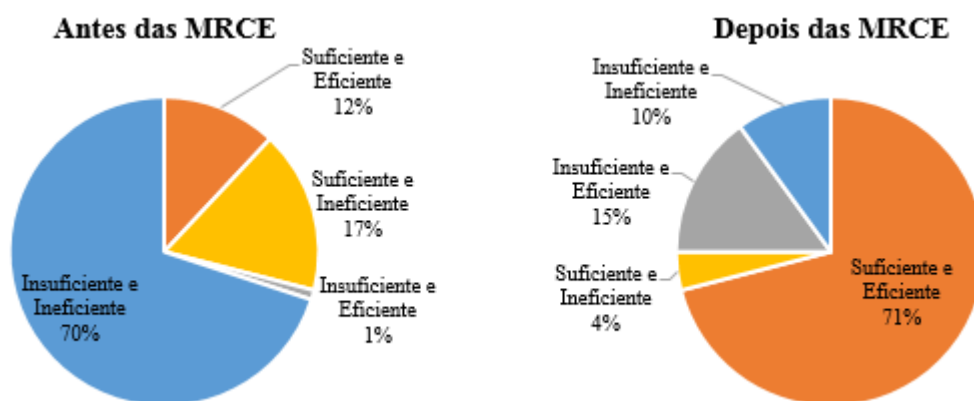


Figura 7.11 - Qualidade de iluminação da Ala Autónoma, antes e após a aplicação das MRCE propostas.

▪ *Campus ISCTE – IUL*

A nível global, aplicando as MRCE a cada edifício consegue-se alcançar os resultados representados na Figura 7.12 onde é possível observar que os espaços que não cumprem os requisitos legais representam 51 % da área total do Campus passando a 23 % após as MRCE. Com a aplicação das mesmas é possível obter metade dos espaços do Campus com iluminação suficiente e eficiente, cumprindo assim todos os requisitos legais, perfazendo uma percentagem de quase 70 % de espaços eficientes, enquanto atualmente, estes apenas representam cerca de 30 %.

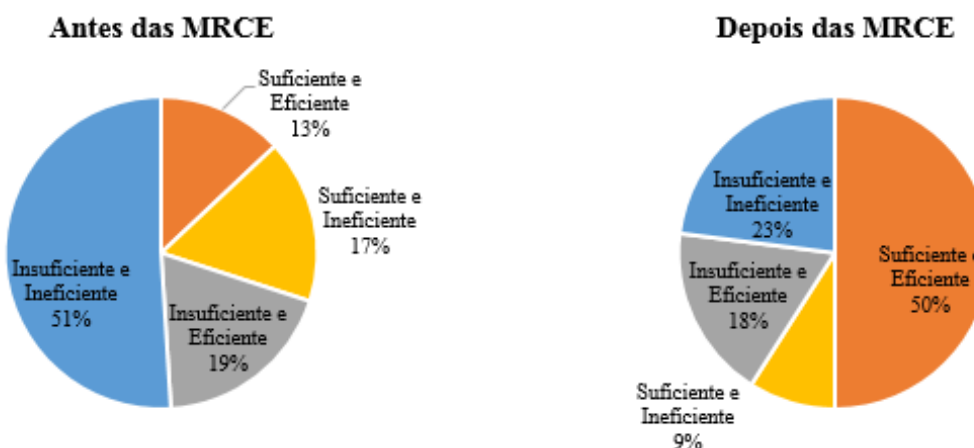


Figura 7.12 - Qualidade de iluminação antes e após a aplicação das MRCE propostas para o *Campus*.

Deste modo, o investimento total para remodelar o sistema de iluminação do *Campus ISCTE – IUL* é de 124 000€ com um *payback* simples de três anos. Na Tabela 7.2 é apresentado o resumo dos resultados obtidos, aquando realizada a análise económica para o *Campus* universitário. A aplicação das medidas de eficiência energética descrita permite uma poupança global de 43 000 € e de 358 MWh/ano no consumo de energia da instituição universitária. O edifício que apresenta maior poupança é o Edifício II, uma vez que era o edifício com tecnologias mais antigas e por isso, onde a aplicação das MRCE com tecnologias inovadoras e eficiências permite uma maior poupança. Em particular o Edifício I é o edifício que apresenta maior investimento, cerca de 81 300 €, e por isso o *payback* simples mais elevado (cinco anos). O INDEG não apresenta qualquer valor, uma vez que não foram analisadas MRCE para este edifício, pelas razões já apresentadas.

Tabela 7.2 – Análise económica realizada para a renovação do sistema de iluminação.

	Poupança Anual		Investimento	Payback Simples
	[MWh]	[€]	[€]	[Anos]
Edifício I	143	17 209	81 300	5
Ala Autónoma	34	4 043	9 550	2
INDEG	-	-	-	-
Edifício II	181	21 737	33 000	2
Total	358	42 989	123 850	3

Esta análise simplificada apenas tem em consideração o *payback* simples que é o cálculo necessário para o retorno do investimento para efeitos da legislação para determinar se a aplicação das medidas de eficiência energética são obrigatórias, não é como a análise económica apresentada na Secção 7.3 que tem em consideração o custo de manutenção das lâmpadas atuais e das lâmpadas a instalar com as MRCE.

8. Conclusões

Nesta dissertação, através da identificação das *baselines* de consumo de energia do Edifício II foi possível classificá-lo de acordo com o seu desempenho energético. Realizou-se uma análise do comportamento térmico do edifício em estudo, recorrendo a modelos de simulação que fossem representativos do Edifício II nas suas condições reais de funcionamento. Após a calibração da simulação de modo a que o modelo fosse fidedigno da realidade, foi possível determinar qual o indicador de eficiência energética do mesmo, tendo obtido o valor de 206 kWh_{EP}/m².ano e um R_{IEE} de 0.95, atribuindo-lhe assim uma classe energética B⁻.

Mesmo com a aplicação das medidas de racionalização do consumo energético, a classe energética mantinha-se B⁻, embora o seu IEE passa-se para um valor de 185 kWh_{EP}/m².ano e o R_{IEE} apresente um valor de 0.78.

A partir da análise dos resultados obtidos pela simulação dinâmica, foi possível obter a desagregação de consumos do edifício em que a climatização é responsável por 53 % do consumo final de energia, com 47 % referentes a necessidades de aquecimento e apenas 7 % referentes a necessidades de arrefecimento, seguido da parcela “Outros” que representa 36 % (esta parcela engloba os consumos elétricos de elevadores, equipamentos elétricos existentes no edifício, ventilação e bombas de circulação) e por fim a iluminação representando cerca de 11 % do consumo final de energia do edifício. A discrepância entre o peso das parcelas de aquecimento e arrefecimento devem-se sobretudo ao fato de, no edifício existirem muitos espaços que apenas têm a possibilidade de aquecimento.

Relativamente às MRCE aplicadas ao nível da iluminação interior no *Campus ISCTE – IUL*, no Edifício I a aplicação das mesmas permite erradicar por completo a tecnologia halogéneo, permitindo uma poupança de 143 MWh/ano; para o Edifício II a poupança é de 181 MWh/ano e para a Ala Autónoma obteve-se uma poupança de 34 MWh/ano.

A nível da qualidade do sistema de iluminação, com a aplicação das MRCE o *Campus ISCTE – IUL* apresenta 50 % da área total do edifício são espaços que cumprem os requisitos legais tanto em termos de eficiência do sistema de iluminação como a nível de iluminância, em detrimento dos 13 % antes da aplicação das medidas e reduzindo os espaços que não cumprem nenhum dos requisitos legais em 28 %.

Face à análise financeira realizada para a aplicação das MRCE, o investimento total necessário para o *Campus* universitário seria de 124 000 € (valor global para os três edifícios), com um retorno do investimento de três anos e com uma poupança anual de 43 000 €. O Edifício I é o edifício que apresenta um investimento mais elevado, com um valor de 81 300 € e o Edifício II aquele que apresenta uma maior poupança, cerca de 22 000€, com uma retorno do investimento ao fim de dois anos.

Segundo a legislação em vigor, caso o período de retorno do investimento seja inferior a oito anos, as medidas de eficiência energética propostas são de aplicação obrigatória. Neste sentido, as MRCE aplicadas ao *Campus* são de carácter obrigatório por apresentarem um *payback* simples de três anos e por isso devem ser implementadas.

Durante a realização deste trabalho, as dificuldades mais significativas que foram sentidas dizem respeito à definição dos perfis de utilização para os diferentes ganhos internos, nomeadamente, equipamentos elétricos, iluminação e ocupação, uma vez que o Edifício II apresenta uma variedade de tipologia de espaços tornando difícil definir perfis de utilização para cada espaço, sendo um processo

moroso e em que foi necessário várias visitas ao local, de modo a definir com o maior rigor possível estes perfis e adequando-os à realidade do edifício.

9. Bibliografia

- ADENE. (2010). *A luz certa e energeticamente eficiente*.
- ADENE. (2012). *Guia da eficiência energética*.
- ADENE. (2013). *Fundo de Eficiência Energética*.
- ADENE. (2014). *Programa de Eficiência Energética na Administração Pública*.
- ASHRAE. (2008). *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*.
- CLIMAR. (2013). *innováre*.
- (2013). *Decreto-Lei n.º 118/2013 D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20*.
- (2013). *Decreto-Lei n.º 118/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-20*.
- (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03*.
- (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03*.
- (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03*.
- (2013). *Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03*.
- DGEG. (2012). *Direcção Geral de Energia e Geologia*.
- EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico. (2011). *EEE White - Catálogo*.
- EN. (2011). *EN 1264 -1 - "A Iluminação no local de trabalho"*.
- EnergyPlus. (2013). *EnergyPlus Overview & Getting Started Tutorials*.
- EPBD. (2002). *DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*.
- Graça, Helder et al. (2004). *Conceitos Bioclimáticos*.
- Ham, S et al. (2015). *Simplified server model to simulate data center cooling energy consumption. Energy & Buildings*.
- ITE50. (2010). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*.
- LNEG. (2010). Obtido de Laboratório Nacional de Energia e Geologia:
http://www.lneg.pt/download/8119/CLIMAS-SCE%201_05.xlsm
- Mateus, N. M. (2012). *Validação de modelos de simulação térmica num edifício de dupla pele sem climatização*.
- OSRAM. (2013). *Tabela de preços - Iluminação Geral e Luminárias*.
- OTIS. (2013). *Catálogo OTIS GEN2 COMFORT*.

- Pérez-Lombard, et al. (2008). *A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings.*
- Phillips. (2014). *Tabela Iluminação Profissional.*
- PNAEE. (2013). *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 2016.*
- (2013). *Portaria n.º 349-A/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29.*
- (2013). *Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29.*
- (2013). *Portaria n.º 349-C/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02.*
- (2013). *Portaria n.º 349-D/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02.*
- (2013). *Portaria n.º 353-A/2013. D.R. n.º 235, Suplemento, Série I de 2013-12-04.*
- Saint-Gobain. (s.d.). *Saint-Gobain Glass.* 2000.
- Thewes. A et al. (2014). *Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg. Energy and Buildings.*

Anexos

Anexo I

Soluções construtivas

i. Soluções construtivas exteriores da envolvente vertical opaca.

Parede exterior W53003					
Descrição	e_j	λ	Densidad e	Calor especifico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.02	0.06	1500	1800	0.25
Tijolo	0.11	0.80	1300	1000	0.14
Caixa de ar	0.10	0.18			0.18
XPS	0.02	0.06	180	1600	0.35
Reboco	0.01	0.06	1500	1800	0.17
Tijolo	0.20	0.80	1300	1000	0.25
Reboco	0.01	0.06	1500	1800	0.17
Caixa de ar	0.03	0.18			0.18
Pedra	0.03	0.04	68	840	0.75
Espessura total					0.53
Resistência total [m².°C/W]					2.60
Coeficiente de transmissão térmica total [W/m².°C]					0.38
Parede exterior W53004					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor especifico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Tijolo	0.11	1.12	1700	800	0.10
Caixa de ar	0.08	0.18			0.18
XPS	0.02	0.03	35	1400	0.59
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15
Espessura total					0.51
Resistência total [m².°C/W]					1.21
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.83

Parede exterior W30003					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Betão	0.30	2.00	2000	1000.00	0.15
Espessura total					0.30
Resistência total [m².°C/W]					0.32
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					3.13

Parede exterior W72002					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Réguas Dinamarquesas	0.02	0.06	180	1600	0.39
Caixa de ar	0.02	0.17			0.17
Lã mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Reboco	0.02	0.47	1450	1000	0.04
Tijolo	0.15	1.12	1700	800	0.13
Caixa de ar	0.23	0.18			0.18
XPS	0.02	0.03	35	1400	0.59
Betão	0.20	2.00	2000	1000	0.10
Reboco	0.01	0.47	1450	1000	0.02
Pedra	0.03	3.50	2880	840	0.01
Espessura total					0.66
Resistência total [m².°C/W]					1.23
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.47

Parede exterior W26001					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.03	0.47	1450	1000	0.06
Pedra	0.01	3.50	2880	840	0.00
Betão	0.20	2.00	2000	1000	0.10
XPS	0.02	0.03	35	1400	0.59
Espessura total					0.26
Resistência total [m².°C/W]					0.92
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					1.08

Parede exterior W62004					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Tijolo	0.15	1.12	1700	800	0.13
Caixa de ar	0.13	0.18			0.18
XPS	0.02	0.03	35	1400	0.59
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15
Espessura total					0.62
Resistência total [m².°C/W]					1.25
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.80

ii. Soluções construtivas interiores da envolvente vertical opaca.

Parede interior W13102					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Tijolo	0.11	1.12	1700	800	0.10
Espessura total					0.13
Resistência total [m².°C/W]					0.38
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					2.61

Parede interior W19102					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Azulejo	0.02	1.30	2300	840	0.02
Tijolo	0.15	1.12	1700	800	0.13
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Espessura total					0.19
Resistência total [m².°C/W]					0.43
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					2.30

Parede interior W22103					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco e Pintura	0.01	0.80	1300	1000	0.01
Blocos Ytong	0.20	0.15	550	1000	1.38
Reboco e Pintura	0.01	0.80	1300	1000	0.01
Espessura total					0.22
Resistência total [m².°C/W]					1.66
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.60
Parede interior W27101					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Réguas Dinamarquesas	0.02	0.06	180	1600	0.39
Caixa de ar	0.02	0.15			0.15
Lã mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Blocos Ytong	0.20	0.15	550	1000	1.38
Reboco e Pintura	0.01	0.80	1300	1000	0.01
Espessura total					0.27
Resistência total [m².°C/W]					2.69
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.37
Parede interior W30104					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15
Espessura total					0.30
Resistência total [m².°C/W]					0.41
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					2.44
Parede interior W53102					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15
XPS	0.02	0.03	35	1400	0.59
Caixa de ar	0.08	0.18			0.18

Parede interior W53102					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Tijolo	0.11	1.12	1700	800	0.10
Reboco	0.01	1.80	1900	1000	0.01
Lã mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Caixa de ar	0.02	0.15			0.15
Contraplacado	0.02	0.09	300	800	0.24
Espessura total					0.58
Resistência total [m².°C/W]					2.18
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.46

Parede interior W36103					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Contraplacado	0.02	0.09	300	800	0.24
Caixa de ar	0.02	0.15			0.15
Lã mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15
Espessura total					0.36
Resistência total [m².°C/W]					1.30
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.77

iii. Soluções construtivas do pavimento interior.

Pavimento entre Laboratórios de Informática e Gabinetes					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Linóleo	0.01	0.06	200	1000	0.09
Reboco	0.08	0.47	1450	1000	0.17
Betão	0.28	2.00	2000	1000	0.14
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.07
Espessura total					0.38
Resistência total [m².°C/W]					0.57
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					1.75

Pavimento entre zonas de circulação					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Linoleo	0.01	0.06	200	1000	0.09
Reboco	0.08	0.47	1450	1000	0.17
Betão	0.28	2.00	2000	1000	0.14
Teto Metálico	0.001	221	2740	896	0.00
Espessura total					0.37
Resistência total [m².°C/W]					0.60
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					1.67

Pavimento entre Auditórios e Salas de Aula					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Madeira	0.01	0.19	700	2390	0.06
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.07
Betão	0.23	2.00	2000	1000	0.12
Reboco e Pintura	0.01	0.80	1300	1000	0.01
Espessura total					0.29
Resistência total [m².°C/W]					0.46
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					2.17

Pavimento entre Salas de Aula					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.07
Betão	0.13	2.00	2000	1000	0.07
Reboco e Pintura	0.01	0.8	1300	1000	0.01
Espessura total					0.18
Resistência total [m².°C/W]					0.35
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					2.86

Pavimento entre WCs					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.07

Pavimento entre WCs					
Descrição	e _j	λ	Densidade	Calor específico	R _j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Caixa de ar	0.15				0.18
Betão	0.23	2.00	2000	1000	0.12
Espessura total					0.42
Resistência total [m².°C/W]					0.57
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					1.75

Pavimento entre a Restauração e Auditórios					
Descrição	e _j	λ	Densidade	Calor específico	R _j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.07
Betão	0.23	2.00	2000	1000	0.12
Caixa de ar	0.03				0.18
Lã mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.04
Espessura total					0.33
Resistência total [m².°C/W]					1.11
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.90

Pavimento da Biblioteca					
Descrição	e _j	λ	Densidade	Calor específico	R _j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Madeira	0.01	0.19	700	2390	0.06
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.07
Betão	0.15	2.00	2000	1000	0.08
Caixa de ar	0.31				0.18
Lã Mineral	0.02	0.04	68	840	0.50
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.04
Espessura total					0.53
Resistência total [m².°C/W]					1.13
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.88

iv. Soluções construtivas para as coberturas exteriores dos quatro corpos.

Cobertura Corpo A – Grande Auditório					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco	0.06	0.47	1450	1000	0.13
Caixa de ar	0.04				0.16
Lã Mineral	0.06	0.04	68	840	1.50
Betão	0.50	2.00	2000	1000	0.25
Caixa de ar	0.20				0.16
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.07
Borracha	0.003	0.03	64	1700	0.10
Lã Mineral	0.06	0.04	68	840	1.50
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.15
Espessura total					0.95
Resistência total [m².°C/W]					4.17
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.24

Cobertura Corpo A – Sala de exposições					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Tijolo	0.02	1.12	1700	800	0.02
Pedra	0.03	3.50	2880	840	0.01
Reboco	0.06	0.47	1450	1000	0.13
Betão	0.20	2.00	2000	1000	0.10
Caixa de ar	0.50				0.16
Gesso Cartonado	0.01	0.18	830	840	0.07
Espessura total					0.82
Resistência total [m².°C/W]					0.69
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					1.45

Cobertura Corpo B					
Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Mosaico	0.02	1.30	2300	840	0.01
Reboco	0.02	0.47	1450	1000	0.04
XPS	0.04	0.03	35	1400	1.18
Betão	0.30	2.00	2000	1000	0.15

Cobertura Corpo B

Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.17
Espessura total					0.40
Resistência total [m².°C/W]					1.69
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.59

Cobertura Corpo C

Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Mosaico	0.02	1.30	2300	840	0.01
Reboco	0.06	0.47	1450	1000	0.13
XPS	0.04	0.03	35	1400	1.18
Betão	0.46	2.00	2000	1000	0.23
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Espessura total					0.60
Resistência total [m².°C/W]					1.72
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.58

Cobertura Corpo D

Descrição	e_j	λ	Densidade	Calor específico	R_j
	[m]	[W/m.°C]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[m².°C/W]
Mosaico	0.02	1.30	2300	840	0.01
Reboco	0.04	0.47	1450	1000	0.09
XPS	0.03	0.03	35	1400	0.88
Betão	0.28	2.00	2000	1000	0.14
Reboco e Pintura	0.02	0.80	1300	1000	0.03
Espessura total					0.39
Resistência total [m².°C/W]					1.29
Coeficiente de Transmissão térmica total [W/m².°C]					0.78

Anexo II

Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga de poluente devido à ocupação, segundo a Portaria n.º 353-A/2013.

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes - M (met)	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m³/(hora.pessoa)]
Sono	0,8	Quartos, Dormitórios e similares	16
Descanso	1,0	Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas.	20
Sedentária	1,2	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
		Salas de jardim de infância e pré-escolar e Salas de creche.	28
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	Laboratórios, Ateliers, Salas de Desenho e Trabalhos Oficiais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares.	35
Ligeiramente Alta	2,5 (2,0 a 3,0)	Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de ballet e similares	49
Alta	5,0 (3,0 a 9,0)	Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

Anexo III

Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício, segundo a
Portaria n.º 353-A/2013.

Situação do edifício	Caudal de ar novo [m ³ / (hora.m ²)]
Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	5

Anexo IV

Média dos consumos mensais dos anos 2010, 2011 e 2012 de eletricidade e gás para o Edifício II

	Edifício II	
	Eletricidade [kWh]	Gás [kWh]
Janeiro	134	373
Fevereiro	123	228
Março	131	32
Abril	138	62
Maio	147	11
Junho	139	0
Julho	116	0
Agosto	138	0
Setembro	142	0
Outubro	152	3
Novembro	142	116
Dezembro	113	171
Total	1615	998

Anexo V

Tabela I.28 do RECS - Valores máximos de densidade de potência de iluminação.

Tipo de espaço segundo a função	DPI		Fator de controlo	
	[(w/m ²)/100lux]		Ocupação FO	Disponibilidade de luz natural FD
	Entrada em vigor	31 dez 2015		
Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho.	2,5	2,1	0,9	0,9
Escritório individual 1-6 pessoas	2,8	2,4	0,9	0,9
Show room e salas de exposição, museus	2,8	2,4	1,0	1,0
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio, salas de reuniões/conferências/auditórios	2,8	2,4	0,9	0,8
Laboratórios, salas de exames/tratamento (1), blocos operatórios (1)	2,8	2,4	1,0	1,0
Salas de pré e pós-operatório,	4,0	3,4	0,8	0,8
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares (2), salas técnicas (centros de dados, fotocópias e similares), parques de estacionamento interiores	4,0	3,4	0,9	1,0
Plataformas de transportes e similares	4,0	3,4	1,0	1,0
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral - zona de público, espaços fabris em geral	4,0	3,4	1,0	1,0
Hall/Entradas, Corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais (3), salas de refeições (exceto restaurantes)	4,5	3,8	0,8	0,9